

**Пояснювальна записка
до магістерської дисертації
за освітньо-професійною програмою**

на тему: «Модернізація палинкової системи котла КВГМ-100 на районній станції
теплостачання «Біличі» з підвищенням енерго-екологічних показників експлуатації»

Київ – 2018 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Теплоенергетичний факультет

Кафедра теоретичної і промислової теплотехніки

«На правах рукопису»
УДК 621.182

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Г.Б.Варламов
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2018 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності 144 «Теплоенергетика»

на тему: «Модернізація паливкової системи котла КВГМ-100 на районній станції
теплопостачання «Біличі» з підвищенням енерго-екологічних показників
експлуатації»

Виконав: студент II курсу, групи ТП-71мп

Міщук Євгеній Андрійович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник професор, д.т.н. Варламов Г.Б. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант з охорони праці к.т.н., доцент Каштанов С.Ф. _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень, термінів.....	7
Вступ.....	10
1 Аналіз існуючих методів підвищення енерго-екологічної ефективності експлуатації об'єктів теплоенергетики.....	11
1.1 Аналіз існуючих систем теплозабезпечення комунальних споживачів.....	13
1.2 Аналіз методів покращення енерго-екологічних показників роботи котлів.....	14
1.3 Висновки з розділу 1.....	20
2 Аналіз конструктивних та аеродинамічних особливостей котла та штатного пальникового пристрою.....	22
2.1 Загальні відомості про котлоагрегат КВГМ-100 на СТ «Біличі».....	22
2.2 Конструктивні особливості штатного пальникового пристрою.....	26
2.3 Характеристика основного встановленого в котельні обладнання	28
2.4 Методика проведення випробувань котла із штатним пальником.....	30
2.5 Розрахунок основних параметрів штатного пальника	35
2.6 Розрахунок аеродинамічного опору штатного пальника.....	38
2.7 Розробка математичної моделі штатного пальникового пристрою РГМГ-30...41	
2.8 Аналіз результатів моделювання аеродинамічних процесів у топці котлоагрегату зі штатною пальниковою системою.....	47
2.9 Висновки з розділу 2.....	51
3 Розробка пропозицій по модернізації пальникової системи котла КВГМ-100 №4 на СТ «Біличі».....	52
3.1 Загальні відомості про трубчасту технологію газоспалювання.....	52
3.2 Розрахунок основних параметрів пальникової системи трубчастого типу для котла КВГМ-100.....	56
3.3 Розрахунок аеродинамічного опору пальника трубчастого типу.....	60
3.4 Аналіз моделювання аеродинамічних процесів з пальниками трубчастого типу в котлі КВГМ-100.....	61

					ТП 71мп 14 009 ПЗ					
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата						
Студент		Міщук			Пальникова система котла КВГМ-100 на СТ «Біличі»			Стадія	Аркуш	Аркушів
Керівник		Варламов								
Н. контр.		Боженко						НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,ТЕФ, каф. ТПТ		
П.контр.										
Зав. каф.		Варламов								

3.5 Порівняння характеристик котла із різними палишковими системами	67
3.6 Технологічна схема приєднання палика до газової та повітряної магістралей	70
3.7 Висновки з розділу 3	71
4. Розробка стартап-проекту.....	72
4.1 Загальні відомості.....	72
4.2 Організація проекту	70
4.3 Канва бізнес-моделі проекту.....	74
4.4 Ключові види діяльності проекту.....	75
4.5 Ціннісні пропозиції та споживачі.....	76
4.6 План робіт та партнери проекту.....	80
4.7 Грошовий потік та економічна оцінка проекту.....	80
4.8 Висновки з розділу 4.....	82
5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	83
5.1 Основні технічні рішення та організаційні заходи з безпечної експлуатації устаткування котельні.....	83
5.2 Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії.....	86
5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	92
ВИСНОВКИ.....	96
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	97
ДОДАТКИ	
ДОДАТОК А.	
РЕЖИМНА КАРТА ВОДОГРІЙНОГО КОТЛА КВГМ- 100	
ДОДАТОК Б.	
ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ НА ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКУ РОЗРОБКУ	
ДОДАТОК В.	
АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІ	
ДОДАТОК Г.	
СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ І ТВОРЧИХ ДОСЯГНЕНЬ	
ДОДАТОК Ґ.	
РЕЗУЛЬТАТИ ПЕРЕВІРКИ НА ПЛАГІАТ	

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на здобуття ступеня магістра за освітньо-професійною програмою підготовки на тему: «Модернізація палинкової системи котла КВГМ-100 №4 на районній СТ «Біличі» з підвищенням енерго-екологічних показників експлуатації»: 106 с., 39 рис., 11 табл., 2 дод., 24 джерел, 9 креслеників формату А1.

Об'єкт розробки – палинкова система котла КВГМ-100 №4 на СТ «Біличі»

Мета роботи – за допомогою математичного моделювання у Solid Works здійснити дослідження аеродинамічних та теплових процесів у топці котлоагрегату при його роботі на палиниках штатного та трубчастого типів. Дослідити методи покращення енерго-екологічних показників роботи палинкової системи котла.

Наведені результати моделювання у Solid Works де відображено розподіл швидкостей, концентрацій палива в газоповітряній суміші в топці котлоагрегату при роботі із штатними палиниками та із палиниками трубчастого типу.

Методами дослідження є теоретичне дослідження, обчислювальні експерименти. Обчислювальний експеримент дозволив вивчити характеристики полів швидкостей, розподіл температур та концентрацій компонентів горіння у топці котлоагрегату. Теоретичне дослідження використовувалось для верифікації результатів обчислювального експерименту.

Робота має практичне значення при технічному переоснащенні палинкових систем потужних котельних агрегатів, що встановлені на районних котельнях, промислових підприємствах, теплоелектростанціях на території всієї України.

Розроблений стартап-проект, в результаті техніко-економічних розрахунків показано, що використання МГП-палиників дає економічний ефект біля 2601 тис. грн. за рік.

Передбачені заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: трубчаста технологія, спалювання газу, аеродинаміка, математичне моделювання.

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
						4
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ANNOTATION

Master's thesis for obtaining a master's degree in an educational and professional training program on the topic: "Modernization of the burner system of the boiler KVGM-100 №4 on ST" Bilichi "with increase of energy-ecological indicators of operation": 106 p., 39 figures, 11 tables, 24 sources, 9 shades of A1 format.

The object of development - the boiler KVGM-100 № 4 on ST "Bilichi"

The purpose of the work - with the help of mathematical modeling in Solid Works to carry out research on aerodynamic and thermal processes in the furnace of the boiler unit during its work on standard and tubular type burners. To study methods for improving the energy and environmental performance of the boiler's boiler system.

The results of simulation in Solid Works are presented, which shows the distribution of velocities, fuel concentrations in the gas mixture in the furnace of the boiler unit when working with standard burners and with tubular type burners.

Research methods are theoretical research, computational experiments. The computational experiment allowed to study the characteristics of the velocities, the distribution of temperatures and concentrations of combustion components in the furnace of the boiler. A theoretical study was used to verify the results of a computational experiment.

The work is of practical importance with the technical re-equipment of the burning systems of powerful boiler units installed at district boiler-houses, industrial plants, and thermal power stations on the territory of the entire Ukraine.

Occupational safety and emergency measures are foreseen.

KEYWORDS: tubular technology, gas combustion, aerodynamics, mathematical modeling.

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
						5
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация на получение степени магистра по образовательно-профессиональной программе подготовки на тему: «Модернизация горелочной системы котла КВГМ-100 №4 на районной СТ «Беличи» с повышением энерго-экологических показателей эксплуатации»: 106 с., 39 рис., 11 табл., 2 доп., 24 источников, 9 чертежей формата А1.

Объект разработки - горелочная система котла КВГМ-100 №4 СТ «Беличи».

Цель работы - с помощью математического моделирования в Solid Works провести исследование аэродинамических и тепловых процессов в топке котлоагрегата при его работе на горелках штатного и трубчатого типа. Исследовать методы улучшения энерго-экологических показателей работы горелочной системы котла.

Приведенные результаты моделирования в Solid Works, где отражено распределение скоростей, концентраций топлива в газозооной смеси в топке котлоагрегата при работе с штатными горелками и с горелками трубчатого типа.

Методами исследования является теоретическое исследование, вычислительные эксперименты. Вычислительный эксперимент позволил изучить характеристики полей скоростей, распределение температур и концентраций компонентов горения в топке котлоагрегата. Теоретическое исследование использовалось для верификации результатов вычислительного эксперимента.

Работа имеет практическое значение при техническом переоснащении горелочных систем мощных котельных агрегатов, установленных на районных котельных, промышленных предприятиях, теплоэлектростанциях на территории всей Украины.

Разработанный стартап-проект, в результате технико-экономических расчетов показано, что использование МГГ-горелок дает экономический эффект около 2601 тыс. грн. в год.

Предусмотрены мероприятия по охране труда и безопасности в чрезвычайных ситуациях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: трубчатая технология, сжигание газа, аэродинамика, математическое моделирование.

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
						6
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

α – коефіцієнт надлишку повітря;
 V – об’ємна витрата;
 f – площа;
 W – швидкість;
 d, D – діаметри;
 n – кількість;
 δ – товщина;
 S – зовнішні масові сили ;
 μ – коефіцієнт динамічної в’язкості;
 ρ – густина;
 P – тиск;
 Re – число Рейнольдса;
 λ – теплопровідність;
 T – температура;
 σ_0 – стала Стефана-Больцмана;
 τ_{ik} – тензор напруги в’язкого зсуву;
 q_j – дифузійний тепловий потік;
 E – повна енергія одиничної маси середовища;
 k – кінетична енергія турбулентності;
 Pr – число Прандтля;
 R – універсальна газова стала;
 c – питома теплоємність;
 ε – ступінь чорноти поверхні;
 L – характеристика шуму;
 e – параметр природного освітлення;
 Q_k – теплопродуктивність котлоагрегата;
 η_{br} – ККД (брутто);
 B_z – витрата палива.

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Індекси:

пер. пов. – первинне повітря;
пов. – повітря;
г – газ;
пр. зг. – продукти згоряння;
відх. – відхідних газів;
мв. – мережна вода;
рег. – реєстр;
патр. – патрубок;
тр. – трубки;
л – лопатка;
н – нормальних;
iporous – сили опору пористого тіла;
igravity – сили гравітації;
iration – сили обертання системи координат;
заг – загальна;
з пот. пов. – з потоком повітря;
пер. пот. пов. – перпендикулярно потоку повітря;
внутр. – внутрішнє освітлення;
зовн. – зовнішнє освітлення;
всп. – займання;
бр. – бруто.

Скорочення:

КВГМ – котел водогрійний газомазутний ;
ГТУ – газотурбінна установка;
ПЕК – паливно-енергетичний комплекс;
ВВП – внутрішній валовий продукт;
ТЕЦ – теплоелектроцентраль;
ТЕС – теплова електрична станція;
РГМГ – ротаційний газомазутний пальник;
ABB – (*Asea Brown Boveri Ltd.*) – шведсько-швейцарська компанія, що спеціалізується в області енергетичного машинобудування;
НПФ – науково виробнича фірма;

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ДП – дочірнє підприємство;

ПСТ – попереднє змішування пального

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ТМД – трубчастий модуль дифузійний;

ТМДН – трубчастий модуль дифузійний з насадкою;

ТМП – трубчастий модуль з попереднім змішуванням;

ТМК – трубчастий модуль комбінований;

РГМГ – ротаційний газомазутний пальник;

САПР – система автоматизованого проектування;

КЕО – коефіцієнт природного освітлення.

НС – надзвичайна ситуація

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

Паливно-енергетичний комплекс країни – це потужна галузь економіки країни, що об'єднує підприємства з видобутку та транспорту енергетичних ресурсів, з перетворення одних видів енергії в інші, установки транспортування енергії, ремонтні підприємства, наукові та проектні інститути та багато іншого. Усі разом вони утворюють велику енергогенеруючу систему, яка об'єднує: електроенергетичні, ядерно-енергетичні, нафтопостачальні, газопостачальні, вуглепостачальні, переробні та ремонтні об'єкти та підприємства [1].

За даними архівних документів до 1923 року теплопостачання м. Києва забезпечувалось у переважній кількості випадків індивідуальними джерелами тепла котельно-пічного типу. Частка індивідуальних систем парового або водяного опалення будівель й споруд була незначною, а централізоване теплопостачання було відсутнє. Водяне (центральне) опалення будівель від домових котельних мало одиничний характер. У подальшому з розвитком планового господарства почала збільшуватись кількість індивідуальних систем парового й водяного опалення. У 1929 році приблизно 16% теплоти на опалення будівель й споруд вироблялось такими системами, а у 1933 році ця частка зросла до 25%, у першу чергу за рахунок оснащення індивідуальними системами парового й водяного опалення центральних районів міста.

У зв'язку зі зношеністю обладнання та недосконалістю систем очищення відходів енерговиробництва екологічна обстановка у регіональному та національному масштабах продовжує погіршуватися, темпи забруднення і накопичення відходів значно випереджають заходи щодо захисту і відновленню довкілля [2].

Постійне зростання вартості енергетичних ресурсів, підвищення вимог чинного законодавства щодо екологічності експлуатації та вартості сплати за викиди шкідливих речовин в навколишнє середовище, особливості здійснення обслуговування та необхідність подовження моторесурсу змушують здійснювати відповідні заходи щодо підвищення рівня енергозаощадження та мінімізації рівня шкідливих викидів у атмосферне повітря при експлуатації паливовикористовуючого обладнання.

На даний момент введення нових енергетичних потужностей в Україні не заплановано, оскільки значних коштів, потрібних для цього, енергетичні компанії не мають, а державні дотації відсутні.

В цих умовах актуальною є задача підтримання у роботоспроможному стані вже існуючого енергетичного устаткування, у тому числі і тих котлів, що є на електростанціях та підприємствах України за рахунок модернізації та технічного переоснащення [2]. Особливо це необхідно для комунальної енергетики.

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГО-ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

Природний газ вважається найбільш "чистим" з екологічного погляду органічним природним паливом, який використовується у потужних підприємствах виробництва енергії – ТЕС, ТЕЦ, РК. У той же час його спалювання у введених раніше паливоспалюючих системах не відповідає сучасним високим Європейським вимогам за ефективністю та екологічністю внаслідок морального та фізичного зносу обладнання.

За даними Міжнародного енергетичного агентства для забезпечення сучасних потреб в паливі та енергоресурсів, за існуючими обсягами споживання людству вистачить природного газу на 50-55 років [3]. У зв'язку з малими запасами природного газу на власних родовищах і постійно зростаюча вартість на імпорту енергоресурсів до України, однією з найважливіших задач оптимального розвитку паливно-енергетичного комплексу (ПЕК) є збільшення ефективності використання і економії енергетичних ресурсів з одночасним зниженням негативного впливу на навколишнє середовище.

Основними проблемами економіки України являються: висока енергоємність внутрішнього валового продукту (ВВП), значний дефіцит нафти та природного газу, постійне зростання світових цін на енергоносії та енергетична залежність від держав-постачальників вуглеводнів. За даними Міжнародного енергетичного агентства енергоємність ВВП України складає 0,55 кг нафтового еквіваленту (н.е.) на один долар США, що у 2,5 рази перевищує середній рівень енергоємності ВВП найбільш розвинутих держав світу [3]. У відповідності з Енергетичною стратегією України до 2030 року в Україні планується зниження енергоємності ВВП за рахунок реалізації потенціалів енергоефективності та енергозбереження. Також військові дії на території Донбасу негативно впливають на енергетику країни, адже вони унеможливають видобуток первинних енергоресурсів із найбільшого родовища в Україні.

У цих умовах актуальним є розроблення нових технічних рішень за рахунок впровадження високоефективних вітчизняних технологій по збільшенню ефективності роботи паливоспалюючих котлоагрегатів, покращення економічних, енергетичних і екологічних показників, досягнення стратегічних цілей розвитку тепло- та електрогенеруючих систем країни та енергетичного сектору економіки.

Великі обсяги спалювання палива енерговиробляючими компаніями обумовлені, зокрема, виробленням устаткуванням свого робочого ресурсу (близько 100 тис. годин) і конструктивними недоліками. Основне та допоміжне обладнання потребує заміни або капітального ремонту з подальшою модернізацією.

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Серед основних енергетичних об'єктів України, де найбільш поширено використання котельних агрегатів є районні котельні, ТЕЦ та ТЕС. Енергопостачальна система України є національним надбанням, потужним високотехнологічним виробничим комплексом, який виступає важливою складовою у забезпеченні функціонування важливих галузей народного господарства країни, у т.ч. паливно-енергетичної, металургійної, комунально-побутової.

Серед основних вимог функціонування Енергопостачальної системи України, задача якої є безперервне забезпечення тепловою та електричною енергією вітчизняних та іноземних споживачів, необхідно виділити три основні, а саме: підвищення надійності експлуатації, зростання енергетичної ефективності та підвищення екологічної безпеки.

Одним із шляхів підвищення ефективності та надійності роботи котельних агрегатів та газотурбінних двигунів, а також зменшення впливу його роботи на навколишнє середовище є технічне переоснащення паливкової системи цього обладнання.

В своїй праці [4] Іванов Ю.В. сформулював наступні вимоги до паливкового пристрою:

- універсальність (можливість використовувати в різних топках);
- надійність (обмежене тепловиділення поблизу палика при мінімальному проскакуванні);
- стійкість запалювання і стабілізація фронту горіння в широких межах;
- простота конструкції;
- мінімальний аеродинамічний опір по повітряному тракту;
- забезпечення сумішоутворення заданої інтенсивності, достатнє для завершення горіння газу в конкретній установці;
- забезпечення повноти згорання газу при мінімальному коефіцієнті надлишку повітря;
- забезпечення безшумності роботи і відсутність вібрацій в арматурі і всіх елементах.

Існуючі методи зниження токсичності продуктів згорання вуглеводневих палив характеризуються великими витратами при їхньому впровадженні і для всіх відомих методів характерна селективність та неоднозначність впливу на різні токсичні складові продуктів згорання [5,12]. Наприклад, всі технологічні прийоми зниження емісії оксидів азоту (NO_x) приводять до збільшення концентрації в продуктах згорання оксиду вуглецю (CO) та продуктів хімічного недопалу (C_xH_y). Крім того, в більшості випадків не вдається ефективно застосувати одні й ті ж методи та засоби зниження токсичності продуктів згорання в паливкових системах різного призначення [12]. Це стосується так званих стехіометричних паливників (паливкові системи топок енергетичних котлів) та паливників, що працюють при високих надлишках повітря (камери згорання ГТУ та промислові теплогенератори).

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Назріла об'єктивна необхідність створення і реалізації нових технологій спалювання природного газу, яка б відповідала окрім сформульованих вище, ще й наступним вимогам:

1. Ремонтопридатність;
2. Висока енерго-екологічна ефективність;
3. Доступність матеріалів для виготовлення.

Таким чином метою моєї роботи є наглядне представлення позитивного ефекту від заміни паливкової системи в котлі КВГМ-100.

1.1 Аналіз існуючих систем теплоенергозабезпечення комунальних споживачів

До системи теплозабезпечення України належать:

- об'єкти генерації теплової енергії (ТЕЦ, ТЕС, АЕС, когенераційні установки, централізовані опалювальні котельні, промислово-опалювальні котельні окремих підприємств, квартирні генератори тепла, вторинні енергоресурси, нетрадиційні та відновлювані джерела енергії (НВДЕ));
- об'єкти передачі і розподілу теплової енергії споживачам (магістральні теплові мережі, теплові пункти, місцеві розподільчі мережі, зокрема, розподільчі мережі житлових будинків);
- система управління і регулювання постачання теплової енергії.

Основними споживачами теплової енергії є житлово-комунальний сектор (44%), промисловість (35 %) та інші галузі економіки (близько 21 %).

Частка централізованого опалення у загальній структурі тепlopостачання України складає близько 42 %, централізованою системою тепlopостачання забезпечується близько 60 % загальної площі, а гарячим водопостачанням - понад 40% загальної площі житлового фонду України [4].

На сьогодні у системі теплозабезпечення країни накопичилась значна кількість серйозних проблем, починаючи від технічного стану джерел генерації тепла та його розподільчих мереж, неефективного його споживання і закінчуючи проблемами фінансового забезпечення, особливо гострими з яких є проблема інвестицій, тарифного регулювання та оплати за спожиту теплову енергію.

За винятком відносно нових ТЕЦ Києва та Харкова, на більшості українських ТЕЦ основне устаткування фізично і морально застаріло, потрібні його глибока модернізація або повна заміна. Теплові електростанції (ТЕС), які разом з виробітком електроенергії постачають частину теплової енергії, також потребують модернізації. На сьогодні 92,1 % енергоблоків ТЕС відпрацювали свій розрахунковий ресурс (100 тис. годин), а 63,8 % енергоблоків перетнули визнану у світовій енергетичній практиці межу граничного ресурсу та фізичного

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

зносів відповідно 170 тис. та 200 тис. годин і потребують модернізації чи заміни. На теплових електростанціях майже всі енергоблоки перевищили подвійний розрахунковий термін [3,4].

Головними тенденціями на ринках теплової енергії країн світу є подальша децентралізація систем тепlopостачання, підвищення рівня енергоефективності при виробництві, транспортуванні і споживанні теплової енергії. В Україні недостатньо задіяні наукові вітчизняні організації та підприємства до виробництва устаткування і обладнання для модернізації об'єктів теплоенергетики, хоча можливості для цього є досить широкими. Зміна ситуації можлива за умови залучення до галузі значних фінансових ресурсів, в першу чергу, приватних і застосування сучасних технологій. Особливо важливу роль повинна зіграти розробка та впровадження стратегічних науково обґрунтованих планів реконструкції систем теплозабезпечення з метою підвищення їх економічної і енергетичної ефективності та зменшення шкідливого впливу на довкілля.

1.2 Аналіз методів покращення енерго-економічних показників роботи та зменшення емісії шкідливих речовин

1.2.1 Мікрофакельна технологія

Застосування мікрофакельного горіння є перспективним напрямком підвищення енергоекологічної ефективності котельних агрегатів, але ефективність його застосування залежить від методів реалізації мікродифузійного горіння, що потребує відповідної попередньої дослідної перевірки в стендових умовах. Досвід використання такої технології у пальникових системах вказує на ряд недоліків, таких як висока ціна при низькій експлуатаційній надійності, підвищена шумність та наявність вібраційних режимів горіння при роботі, що призводить до зменшення моторесурсу котлоагрегату.

1.2.2 Підвищення надлишку повітря та гомогенізація зони горіння

Підвищення надлишку повітря є радикальним методом зниження емісії оксидів азоту як при дифузійному, так і при попередньому сумішоутворенні. При цьому вважається, що найбільший ефект від підвищення надлишку первинного повітря досягається при застосуванні попереднього сумішоутворення [5,6]. Така технологія отримала назву DLN-технологія і представлена вона на рис. 1.1.

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

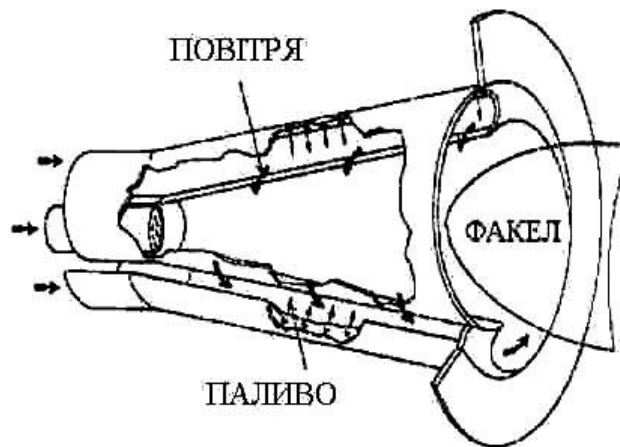


Рисунок 1.1 – DLN-технологія з застосуванням EV-пальників. Фірма ABB

При цьому доведено, що у низькотемпературному факелі ($T < 1800 \text{ K}$) основним механізмом утворення оксидів азоту є механізм утворення «швидких» NO, в той же час, у високотемпературному полум'ї превалює механізм утворення термічних оксидів азоту. Відомо, що для термічних NO має місце сильна залежність їх емісії від температури та тиску ($\text{NO} \sim p^{1/2}$) і практично відсутній вплив тиску на емісію «швидких» оксидів азоту. Цей факт є визначальним в умовах роботи котельних агрегатів.

Однак застосувати DLN-технологію в умовах експлуатації котлоагрегатів KBГМ-100 практично неможливо. Це пояснюється конструктивними особливостями штатного пальникового пристрою.

1.2.3 SOLO – NO_x технологія

До технологій зниження рівня емісії оксидів азоту на основі гомогенізації зони горіння відноситься також так звана SOLO – NO_x технологія [7,8], зображена на рис. 1.2

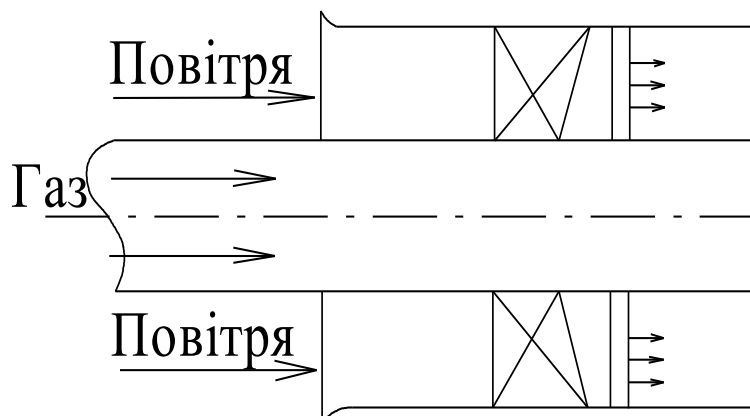


Рисунок 1.2 – (SOLO – NO_x – технологія). Попереднє сумішоутворення та горіння бідної горючої суміші

В даній технології реалізується розподілене по перерізу пальника (перед або після завихрювача) дифузійне сумішоутворення, що забезпечує високий рівень гомогенізації зони горіння і, як наслідок – зниження рівня емісії NO_x у вузькому діапазоні режимів роботи по коефіцієнту надлишку повітря (у даному випадку при $\alpha = 1,7$, що є додатковим підтвердженням дифузійності процесу горіння). Результати досліджень пальникового пристрою фірми Solar показали, що при збільшенні надлишку повітря вище приведенного рівня різко зростає емісія CO , а при зменшенні надлишку повітря не тільки суттєво зростає емісія NO_x і CO , але й виникають проблеми, пов'язані з появою вібраційного горіння, зривом та проскоком полум'я. Фірми, що застосовують цю технологію (Solar, Rolls-Royce, Siemens та ін.), усувають ці проблеми за допомогою впровадження спеціальних систем регулювання складу суміші в зоні горіння, застосування змінної геометрії пальникових пристроїв.

1.2.4 ПСТ – технологія

Відмічені вище недоліки визначають подальший пошук в напрямку ефективних методів реалізації DLN та SOLO – NO_x технологій.

Схемні реалізації малотоксичних пальникових пристроїв, які виконані НПФ «Теплофізика» та ДП «Баштрансгаз» [9, 7] (Росія) по суті являють ще один варіант модернізації SOLO – NO_x технології.

Так, в схемі пальників НПФ «Теплофізика», реалізується комбіноване сумішоутворення з роздачею палива по двом незалежним контурам. Більша частина палива подається через основний контур і розподіляється системою радіальних струменів у закрученому кільцевому потоці повітря, забезпечуючи реалізацію попереднього сумішоутворення. Менша доля палива подається через пусковий контур, який забезпечує дифузійне сумішоутворення у кормовій зоні за втулкою пальника. Застосування такої схеми дозволяє знизити викиди не тільки оксидів азоту, але й викиди CO і CH , а також зсунути границі зриву полум'я у бік бідної суміші.

Серед недоліків робочого процесу таких пальників можна відмітити появу пульсацій тиску (основна частота 200...250 Гц) з амплітудою до 10% від рівня повного тиску. При цьому спостерігається суттєве зростання емісії NO_x . До числа недоліків такої схеми слід віднести складність конструкції і технології її реалізації, високу металоємність і необхідність проведення доводочних робіт в складі натурного пальникового пристрою.

У схемі пальникового пристрою, який розроблено спільно НПФ «Теплофізика» з ДП «Баштрансгаз» [8], також реалізується комбіноване сумішоутворення. (рис. 1.3)

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

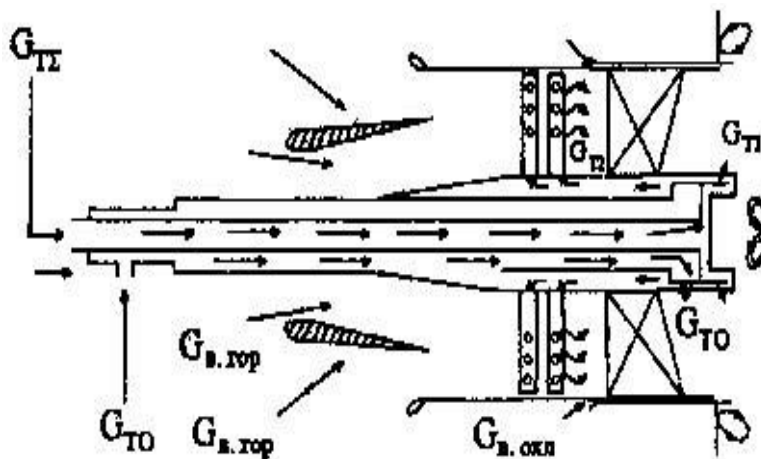


Рисунок 1.3 – Пальник ПСТ, DLN – технологія з інтенсифікацією сумішоутворення

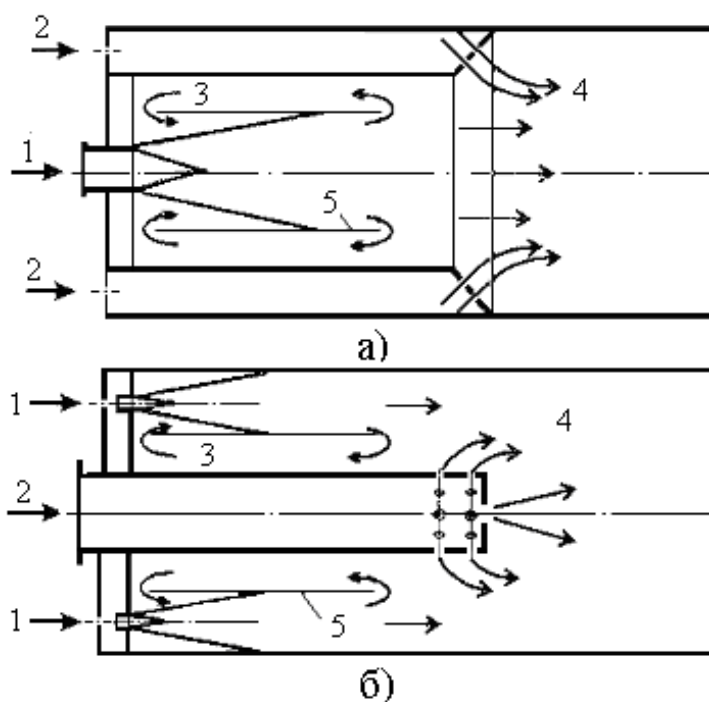
В цьому випадку (на відміну з попереднім варіантом) в пальниках ПСТ («предварительное смешение топлива») реалізується більш повне попереднє сумішоутворення основної частини палива, яке подається до встановленого перед регістром змішувача, з повітрям за рахунок використання радіальних колекторів подачі палива. Висока степінь однорідності складу суміші на виході з пальникового пристрою забезпечується за рахунок використання великої кількості газових отворів (120 на один пальник) рівномірно розподілених у поперечному перерізі зовнішнього змішувача. Частина основного палива поступає через сопла, що розміщуються за регістром. У даній конструкції також застосовується подача пускового палива, що подається по окремому пусковому контуру. При високій ефективності даної конструкції з точки зору зниження рівня емісії NO_x їй притаманні ряд недоліків, до числа яких можна віднести підвищенні вимоги щодо монтажних робіт, суттєвий вплив експлуатаційного стану автоматики та обладнання системи подачі палива на стабільність і надійність запуску камери згорання. В окремих випадках зафіксовані низькочастотні коливання частоти обертання газової турбіни і температури продуктів згорання, мають місце випадки погасання чергового полум'я, утворення нагару, високі рівні викидів CO (більше 200 мг/м^3). До цього слід додати складність конструкції і вимоги високої точності виготовлення окремих елементів пальника, високу металоємність і складність доводки робочого процесу в складі готового пальникового пристрою.

1.2.5 Комплексна технологія

Серед можливих прийомів модернізації пальникових пристроїв слід також відзначити технології, які ґрунтуються на застосуванні комплексного підходу. За рахунок перерозподілу потоків первинного та вторинного повітря (встановлення повітряних патрубків між периферійними регістровими пальниками та радіальна подачі додаткового повітря через патрубки, що розміщені на конічній обічайці фронтового пристрою) досягає зменшення

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

нерівномірності температурного поля у топці котельного агрегату, що приводить до збільшення ККД агрегату на 2% [10]. Одночасно суттєво зменшується емісія токсичних оксидів азоту. Оптимізація розподілу повітря по трактам первинного та вторинного повітря призводить до зменшення емісії оксидів азоту з 700..800 мг/м³ (при штатному виконанні) до 130...150 мг/м³ (при модернізованому варіанті виконання). Такий ефект досягається шляхом здійснення внутрішньої рециркуляції повітря. Принципові схеми реалізації пальників з внутрішньою рециркуляцією показані на рис. 1.4.



1 – подача палива та первинного повітря; 2 – подача вторинного повітря; 3 – внутрішня рециркуляція; 4 – струмені вторинного повітря; 5 – рециркуляційна вставка

Рисунок 1.4 – Схема низькоемісійних (ultra-lowNO_x) пальників

Суттєвим недоліком комплексної технології, що використовує фірма “ОРМА” є необхідність модернізації практично всіх вузлів камери згорання чи котельного агрегату (в тому числі і вихрового змішувача).

Слід відзначити той факт, що вказані технології мають різну назву (у першому випадку це технологія COSTAIR – Continued Staged Air with Internal Recirculation, а в другому це технологія FIRB – Forced Internal Recirculation Burners), однак по суті вони є технологіями-аналогами і ґрунтуються на основі створення підсиленого ефекту внутрішньої рециркуляції продуктів згорання до кореня факела за рахунок їх ежекції системою струменів (рис. 1.4, поз. 1) по центру або по периферії пальника. В першому випадку (рис. 1.4а) інтенсивність рециркуляції зростає за рахунок зниження тиску в зоні горіння, що виникає в середині

рециркуляційної вставки (рис. 1.4, поз. 5), а в другому випадку (рис. 1.4б) такий же ефект досягається за рахунок горіння в просторі між корпусом та вставкою (5).

В результаті досягається значне зниження емісії оксидів азоту (табл. 1.1). Однак, такі пальникові системи характеризуються складністю конструкції та технології виготовлення, високою метало- та матеріалоемністю.

Таблиця 1.1 – Найкращі світові досягнення зниження емісії NO_x в продуктах згоряння стехіометричних пальників

Розробник	Особливості технології	Концентрація NO_x в mg/m^3 при $O_2=3\%$
Магдебург-зький Університет (Німеччина)	<i>COSTAIR</i> - пальник (стадійно-розподілена подача повітря з внутрішньою рециркуляцією продуктів згоряння)	70 – 80
KortingHannover AG (Німеччина)	<i>СК</i> – пальник (застосування багатоступеневої подачі палива та повітря при частковому попередньому змішуванні палива та окисника)	80 – 85

Підводячи підсумок під зробленим аналізом розвитку сучасних технологій підвищення екологічного рівня та паливоспалюючих пристроїв на їх основі, можна зробити висновок, що достатній рівень інтенсифікації та стабілізації процесу спалювання може бути досягнутий як у вихрових, так і в прямоточних пальникових системах.

Перевагою прямоточних конструкцій пальників є більш спрощена технологія їх виготовлення та можливість застосування мікрофакельної структури зони горіння.

Провідні фірми у галузі енергетичного машинобудування (ABB, Siemens, GeneralElectric, консорціум MAN Energy і GEC Alsthom (ME/GA) і ін.) в останні десятиліття нарощують свої зусилля і капіталовкладення в напрямку підвищення термодинамічної ефективності усіх типів енергетичних установок, що обумовлено не тільки економією паливно-енергетичних ресурсів, але і забезпеченням екологічної безпеки цих установок.

Таким чином, для України з великим рівнем енерговиробництва та енергоспоживання актуальним є розробка науково-обґрунтованих маловитратних технологій зниження викидів токсичних продуктів згоряння та створення науково-обґрунтованої бази розвитку нового перспективного напрямку паливоспалюючої техніки.

Запозичення світового досвіду у рішенні цих проблем для України практично неможливо. Основною причиною є те, що відомі в світовій енергетиці технології є усі, без

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

винятку, високовитратними, закритими для широкого впровадження та залежними від економічної політики окремих фірм-монополістів. Підґрунтям для цього є ті обставини, що у цій сфері діяльності вже на протязі багатьох років такі фірми-монополісти як Siemens та Steinmuller (Німеччина), FosterWheelerEn. Corp., GeneralElectric та Babcock-Wilcox (США), Mitsubishi (Японія), ABB (Швейцарія), між якими існує чіткий розподіл сфер діяльності при загальній тенденції розвитку високовитратних енерготехнологій.

У цих умовах актуальним є розроблення нових технічних рішень за рахунок впровадження високоефективних вітчизняних технологій по збільшенню ефективності роботи газотурбінних двигунів, покращення економічних і екологічних показників, досягнення стратегічних цілей розвитку газотранспортної системи країни та енергетичного сектору економіки.

1.2.6 Трубочаста технологія НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”

При створенні пальникових систем на базі даної технології застосовуються трубчасті модулі (насадок Борда), за допомогою яких вдається реалізувати всі відомі канонічні методи мінімізації емісії оксидів азоту в поєднанні з високою ефективністю вигорання палива. В результаті виконаного циклу науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт створені наукові основи робочого процесу таких пальників та загальні принципи їх конструювання [11].

Зона горіння у такому пальнику (на базі трубчастих модулів) являє собою мікрофакельну систему, яка при високій ефективності сумішоутворення дозволяє створити рівномірне температурне поле продуктів згорання, що сприятиме підвищенню загальній енергетичній ефективності котельного агрегату.

Особливістю даної технології є: простота реалізації (при виготовленні пальників використовуються стандартні матеріали: листова сталь, труба і технології виготовлення: необхідні тільки слюсарні та зварювальні операції), мала металоємність. Слід також відмітити “незалежність” даної технології від закордонних фірм (є демонстраційний патент України, а також можливе подальше патентне закріплення прийнятих конструктивних рішень).

1.3 Висновки з розділу 1

Проаналізувавши існуючі технології та методи впливу на енерго-екологічні показники роботи котельного агрегату зроблено наступні висновки:

1. Враховуючи сучасний стан та зміну паливно-енергетичного балансу країни ставляться все більш жорсткі вимоги щодо екологічних та економічних показників використання котельних агрегатів, що знаходяться в експлуатації;

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

2. В Україні в експлуатації знаходиться значна кількість фізично та морально застарілих котельних агрегатів, серед яких варто приділити увагу котлоагрегату КВГМ-100;

3. Серед розглянутих способів технічного переоснащення котельного агрегату найбільш оптимальним є використання палинкової системи на основі трубчастої технології завдяки наступним перевагам:

- здатність комплексного застосування класичних та додаткових методів і способів підвищення екологічності спалювання газоподібного палива;
- високий рівень рівномірності температурного поля у зоні горіння;
- покращенні техніко-експлуатаційні показники роботи обладнання (зменшення шуму, вібрації), що позитивно впливає на моторесурс установки;
- широкий спектр регулювання завантаження установки (10...100%) при незмінно високому рівні екологічності спалювання палива;
- здатність проведення швидкої і недорогої модернізації установки за рахунок використання доступних матеріалів і не складних технологічних операцій виготовлення та установки;
- вітчизняна розробка.

У цих умовах актуальним є розроблення нових технічних рішень за рахунок впровадження високоефективних вітчизняних технологій по збільшенню ефективності роботи газотурбінних двигунів, покращення економічних і екологічних показників, досягнення стратегічних цілей розвитку газотранспортної системи країни та енергетичного сектору економіки.

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

2 АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ТА АЕРОДИНАМІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ШТАТНОГО ПАЛЬНИКОВОГО ПРИСТРОЮ

2.1 Загальні відомості про котлоагрегат КВГМ-100 №4 на СТ «Біличі»

Котел водогрійний газомазутний КВГМ-100 теплопродуктивністю 100 Гкал/год зображений на Рис.2.1 призначений для нагріву води систем теплопостачання від 70°C до 150°C, має прямоточну П - подібну безкаркасну компоновку з полегшеною обмурівкою, яка зміцнена на екранних трубах. Топка і опускний газохід котла мають спільний проміжний екран. Розташування поверхонь нагріву в опускних газоходах симетрично. Котел може експлуатуватися в температурному режимі по нагрітій воді від 150 до 100 °С. Котел призначений для спалювання газу і мазуту. Пальник встановлюється на повітряному короби котла, який кріпиться на фронтальному екрані до вертикальних колекторів. Циркуляція води примусова. Зворотня мережева вода подається в котел і там послідовно проходить всі поверхні нагріву, нагрівається і знову йде в систему теплопостачання.

Майданчики для обслуговування котла кріпляться до відокремлених металоконструкцій, які спираються на портал котла. Конструкція котла представлена в графічній частині дипломного проекту.

Для видалення зовнішніх відкладень з труб конвективних поверхонь нагріву котла використовується дробеочисна установка. Подача дробу угору проводиться з чистим повітрям, що подається ротаційною повітрорудкою.

Обмуровка котла полегшена, натрубна, кріпиться до екранних труб, товщина близько 110мм, складається з трьох шарів: шамотобетона, совелітових плит, мінераловатних матраців і магнезійних обмазок. Екрани топочної камери і бокові екрани конвективної шахти опираються на портал і розширюються угору разом з обмуровкою і поясами жорсткості. На фронтальній стінці котла встановлені три газомазутні пальники з ротаційними форсунками, причому третій пальник розміщений зверху в другому ряді. Ротаційні пальники РГМГ-30 - механічні з мазутними форсунками механічного розпилення і водяним охолодженням. Газопідвідна частина складається з внутрішнього та зовнішнього ободів. Між ними під кутом 40° до осі симетрії встановлені лопатки і воротник, призначений для плавного входу вторинного повітря в завихрювач. У верхній частині апарату розташовані отвори для проходу труби запальника.

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

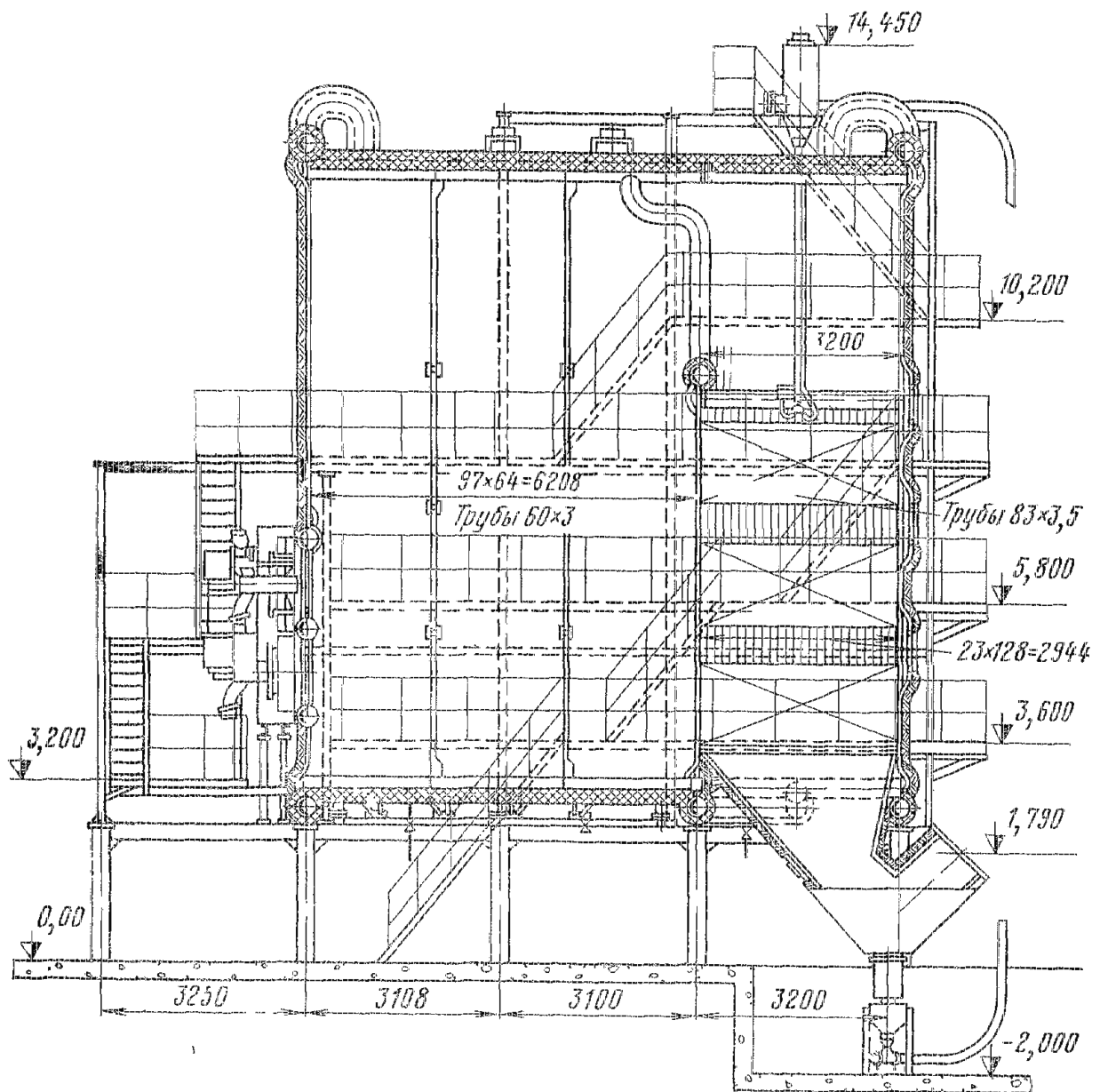


Рисунок 2.1 - Профіль котла КВГМ-100

2.1.1 Основні технічні характеристики котла КВГМ-100 в основному режимі роботи:

Теплова продуктивність, Гкал/год:	100
Температура води на вході, °С:	
при роботі на газі:	70
Температура води на виході, °С:	150
Витрата води, т/год:	1235
Гідравлічний опір, кгс/см²:	2,4-28
ККД котла (брутто), %	
при роботі на газі:	92,7

Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

ТП 71мп 14 009 ПЗ

Арк.

Витрата палива,

при роботі на газі, $\text{нм}^3/\text{год}$: 12520

Температура газів, що відходять, $^{\circ}\text{C}$

при роботі на газі: 138

До основних конструктивних елементів котла КВГМ-100 відносяться топкову камеру, конвективну частину котла, каркас, пальникову систему.

2.1.2 Топкова камера

Топка котла і конвективна шахта цілком екрановані. Екрани топкової, поворотної камери і задньої стінки конвективної шахти виконані з труб 60×3 мм. Конвективна поверхня нагріву котла складається з трьох пакетів. Кожен пакет набирається з U- подібних ширм, виконаних з труб $d = 28 \times 3$ мм. Ширми в пакетах розташовані паралельно фронту котла і розставлені таким чином, що їх труби утворюють шаховий пучок з кроком $S_1 = 64$ і $S_2 = 40$ мм. Бічні стінки конвективної шахти закриті трубами $d = 83 \times 3,5$ мм з кроком 128 мм, вони одночасно слугують стояками конвективної шахти. Всі труби утворюють екранні поверхні котла, уварені безпосередньо в колектор $d = 273 \times 11$ мм. Для видалення повітря з трубної системи при заповненні котла водою на верхніх колекторах встановлені калапани призначені для видалення повітря. Вибухові запобіжні клапани встановлені на стелі топкової камери. Конструктивні характеристики котла наведені в табл.2.1.

Таблиця 2.1 Конструктивні характеристики котла КВГМ-100

Топка	
Об'єм топки, м^3	388,0
Поверхня стін, м^2	2710
Радіаційна поверхня нагріву, м^2	325
Діаметр труб, мм	60x3
Фестон (розміщення труб шахове)	
Діаметр труб, мм	60x3
Поперечний крок труб, мм	256
Повздовжній крок труб, мм	180
Поверхня нагріву, м^2	10,3
Перетин для проходу газів, м^2	4,03
Конвективний пучок – шахта (розміщення труб шахове)	
Діаметр труб, мм	28x3
Поперечний крок труб, мм	64
Повздовжній крок труб, мм	42
Поверхня нагріву, м^2	406,5
Перетин для проходу газів, м^2	2,57

2.1.3 Схема циркуляції води в котлі

Зворотня мережева вода з температурою 70°C мережевим насосом подається в нижній колектор фронтального (переднього) екрану. Після ряду підйомно-опускних рухів вода попадає в нижній проміжний колектор фронтального екрану, звідки перепускними трубами переходить у верхній проміжний колектор, звідки по екранним трубам вода надходить у верхній колектор фронтального екрану. Двома потоками по перепускних трубах вода переходить у верхні колектори лівого і правого бічних екранів, розподіляючись по колекторам до заглушок, звідки по ближній (відносно фронту котла) частині екранних труб опускається в нижні колектори бічних екранів і проходить по ним до заглушок.

Після багатогодового руху води по екранним трубам бічних екранів, з верхніх колекторів бічних екранів, двома потоками по пропускних трубах, вода переходить у верхні колектори проміжного екрана через екран зверху вниз. З нижнього колектора проміжного екрана, двома потоками по перепускним трубам, теплоносій переходить в нижні колектори бічних стін конвективної шахти. Далі пройшовши стояки і три конвективних U-подібних пакети секцій (ширм) знизу доверху, вода надходить спочатку в проміжний колектор, а потім по екранним зігнутим трубам переходить в верхні колектори конвективної шахти.

З верхніх колекторів конвективної шахти, двома потоками по перепускним трубам, вода переходить в верхні колектори задньої стінки шахти, проходить по трубах зверху вниз до нижнього колектора задньої стінки, звідки нагріта до 150 ° С вода йде в тепломережу. Швидкість руху води по тракту котла лежить в межах 1,6-1,8 м/с. Продувка котла з колекторів екранів проводиться по спеціальним трубопроводам в колектор дренажу. Фронтальний екран складається із 90 труб Ø 60x3 мм, пакети бокових екранів по 48 труб Ø 60x3 мм, проміжний екран містить у собі 88 труб Ø 60x3 мм, конвективні пакети труб 48шт. Ø 60x3 мм та задній екран складається із 90 труб Ø 60x3 мм. Схема циркуляції води в котлі КВГМ-100 в номінальному режимі роботи зображена на рис. 2.2.

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

					<div style="text-align: center;"> ТП 71МП 14 009 ПЗ </div>	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

регулювання, і відносна економічність експлуатації, так як витрата енергії на розпилення нижче, ніж при механічному, паровому або повітряному розпиленні.

Головною особливістю пальника є наявність автономного регулятора первинного повітря і безулітотне підведення вторинного повітря. Головними елементами пальникового пристрою є: ротаційна форсунка, газова частина периферійного типу, повітря направляючий пристрій первинного повітря і повітровід первинного повітря. Первинне повітря від вентилятора первинного повітря подається до завихрювача через спеціальні вікна в корпусі форсунки. Повітрянаправляючий пристрій вторинного повітря складається із повітряного короба, завихрювала аксіального типу з профільними лопатками, встановленими під кутом 40°, і переднього кільця, що утворює гирло пальника.

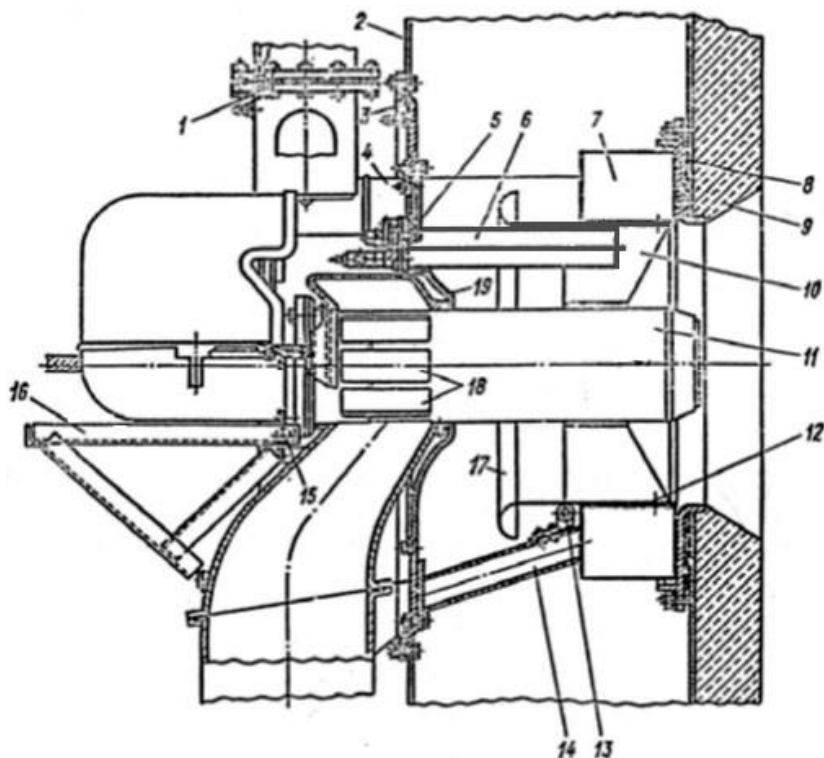
Газова частина пальника периферійного типу складається із газороздаючої кільцевої камери з однорядною системою газовидаючих отворів одного діаметру. Пальник встановлений на повітряному коробі котла, який кріпиться на фронтальному екрані до вертикальних колекторів. З цього короба вторинне повітря надходить в реєстри пальників. Ротаційні газо-мазутні пальники вимагають підведення первинного повітря, яке подається високонапірним вентилятором.

Основні характеристики пальника РГМГ-30 наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 Основні характеристики роботи пальника РГМГ-30 у режимі номінальної продуктивності

Показники	Значення величин
Теплова потужність пальника, МВт (Гкал/год)	38,9 (33,4)
Витрата палива: 1. Мазут марки М-100 по ГОСТ 10585-75, кг/год 2. Природний газ, м³/год	3540,0 3925,0
В'язкість мазуту, cP	6,0-8,0
Тиск мазуту перед форсункою, кПа (кг/см^2)	197,0 (2,0)
Тиск природного газу перед пальником, Па(кгс/м^2)	40180,0 (4120,0)
Аеродинамічний опір пальника по первинному повітрі, Па (кгс/м^2)	8830,0 (900,0)
Аеродинамічний опір пальника по вторинному повітрі, Па (кгс/м^2)	2450,0 (256,0)
Потужність електродвигуна форсунки, кВт	3,0
Температура повітря, $^{\circ}\text{C}$	10-50
Потужність електродвигуна вентилятора первинного повітря, кВт	13
Маса пальника, кг	783

Головні елементи пальника РГМГ-30 зображені на рис. 2.3.



1 – газопровід; 2 – повітряний короб; 3 – кільце рами; 4 – газова труба;
 5, 6 – труба встановлення запального захисного пристрою и фотодатчика;
 7 – газова камера; 8 – переднє кільце повітря направляючого пристрою;
 9 – конічний керамічний тунель (амбразура); 10 – завихрювачі повітря направляючого пристрою; 11 – ротаційна форсунка; 12 – газові випускні отвори; 13 – рамка для центрування завихрювала вторинного повітря; 14 – опорна труба; 15 – підшипник направляючої рами;
 16 – направляюча рама; 17 – повітряний шибер; 18 – вікно для підведення повітря до завихрювача; 19 – кришка пальника

Рисунок 2.3 – Пристрій ротаційного газомазутного пальника РГМГ-30

2.3 Характеристика основного встановленого в котельні обладнання

Кожен котел КВГМ-100 оснащений одним дуттьовим вентилятором типу ВДН-18,1, виготовленим Бійським котельним заводом у 1987 році: продуктивність – 140000 м³/год при напорі 420кг/м² з електродвигуном типу АОЗ-400м-6У2 потужністю 200кВт, напругою 6000 В, частотою обертів 990 об/хв;

Також котел КВГМ-100 на СТ «Біличі» обладнаний одним димососом ДН22-2-0,62ГМ виготовленим підприємством п/я А-7968 у 1988 році:

частота обертів 750/600 об/хв;

максимальна допустима температура відхідних газів – 250 °С;

продуктивність – 252000 м³/год при напорі 195 кг/м²

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

маса – 14000 кг

Електродвигун типу Да304-450х-10У1 потужністю 250 кВт, напруга 6000В, число обертів 600 об/хв.

Газоходи від котлів до димососів металеві, товщиною 5мм. Оребрення смугою 50х5. Перетин у світлі 2098х2000 мм. На газоході розташовані вибухові клапани «Пілотної дії» діаметром 800мм. Ізоляція мінераловатна з металевим покриттям. Довжина 7400мм. Газоходи котлів від димососу до борова металеві, товщиною 5мм. Оребрення смугою 50х5мм. Перетин у світлі 2400х2000мм, ізоляція мінераловатна з металевим покриттям, довжина 1000мм.

В табл. 2.3 наведений перелік приладів, що встановлені на щиті керування, в табл. 2.4 – тих, що встановлені на місцевому щиті.

Таблиця 2.3 - Прилади, що встановлені на щиті керування

Тип приладу	Величина, що вимірюється	Шкала	Одиниці вимірювання
КСД 2-004	Витрата мережної води	0-320	т/год
КСД 2-003	Тиск мережної води після котла	0-16	кгс/см ²
КСД	Витрата води на котел	0-320	т/год
КСМ-2-021-01	Температура води до і після котла	0-300	°С

Таблиця 2.4 - Прилади, що встановлені на щиті керування

Тип приладу	Величина, що вимірюється	Шкала	Одиниці вимірювання
Манометр МНП-160	Тиск мережної води перед котлом	0-25	кгс/см ²
Манометр МНП-160	Тиск мережної води після котла	0-25	кгс/см ²
Ртутний термометр	Температура мережної води перед котлом	0-100	°С
Ртутний термометр	Температура мережної води після котла	0-100	°С

На підприємстві встановлено тепловий лічильник нового покоління, що дозволяє передачу даних на вищому рівень. На трубопроводах подачі води відсутня регулювально-запірна арматура, необхідна для реалізації контуру захисту котла у випадку припинення горіння.

На газоходах котла встановлена наступна регулювально-запірна арматура:

- Газова відсічна засувка з електроприводом;
- Витратомір;
- Швидкодіючий запірний клапан;
- Клапан регулятора навантаження котла;
- Електрофікована газова засувка;

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Свічка безпеки;
- Ручна газова засувка;
- Клапан подачі газу на ЗСП.

Окрім досліджуваного котла в котельні встановлено ще 2 котла КВГМ-100 та 2 котла ДЕ-25/14 ГМ. Теплова схема котельні та схема газопроводів показані на кресленнях.

2.4 Методика проведення випробувань котла із штатним пальником

Оцінка використання пальників трубчастого типу проводиться на основі порівняння показників роботи котла з новими і старими стаціонарними пальниками РГМГ-30 у всьому діапазоні навантажень котельного агрегату (30 – 100% встановленої потужності котельного агрегату).

Під час проведення монтажних та пусконаладжувальних робіт, а також перед початком випробувань з допомогою фотозйомки фіксується стан зовнішніх поверхонь нагріву, стан змонтованого обладнання та підвідних комунікацій тощо.

Порівняльні випробування для кожного режиму проводяться в обсязі одержання інформації для розрахунку ККД за зворотнім балансом, оскільки прилад, що реєструє витрату газу на котел має індикаторний клас точності.

Під час проведення випробувань фіксуються наступні параметри (по штатним приладам):

- витрата мережної води;
- температура та тиск мережної води на вході в котел;
- температура та тиск мережної води на виході з котла;
- температура холодного повітря;
- температура відхідних газів;
- тиск повітря перед пальниками;
- розрідження в топці;
- коефіцієнт надлишку повітря;
- витрата газу;
- тиск газу за РК;
- тиск газу на пальники.

Додатково вимірюються:

- O_2 , NO_x , CO ;
- температура газів, факела та пальників.

За результатами, отриманими під час випробувань, будуть зроблені розрахунки основних техніко-економічних показників котла.

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

2.4.1 Методика розрахунку ККД брутто котла за зворотнім балансом

1) Теплопродуктивність котла, Гкал/год, визначається за формулою:

$$Q = D_{\text{МВ}} (T''_{\text{МВ}} - T'_{\text{МВ}}), \quad (2.1)$$

де $D_{\text{МВ}}$ - витрата мережної води, т/год;

$T''_{\text{МВ}}$ - температура мережної води на виході з котла, °С;

$T'_{\text{МВ}}$ - температура мережної води на вході в котел, °С.

2) ККД котла брутто за зворотнім балансом $\eta_{\text{бр}}$, %, визначається за формулою (при спалюванні природного газу):

$$\eta_{\text{бр}} = 100 - \sum q, \quad (2.2)$$

де $\sum q$ - сума втрат тепла, %, розраховується за формулою:

$$\sum q = q_2 + q_3 + q_5, \quad (2.3)$$

де q_2 - втрати тепла з відхідними газами, %;

q_3 - втрати тепла з хімічним недопалом, %;

q_5 - втрати тепла від охолодження зовнішніх поверхонь котла, %;

3) Величина втрати тепла з відхідними газами q_2 визначається за формулою (при спалюванні природного газу):

$$q_2 = (3,53 \cdot \alpha_{\text{відх}} + 0,6) \cdot (t_{\text{відх}} - \frac{\alpha_{\text{відх}}}{\alpha_{\text{відх}} + 0,18} \cdot t_{\text{хнов}}) \cdot (0,9805 + 0,00013 \cdot t_{\text{відх}}) \cdot 10^{-2}; \quad (2.4)$$

де $t_{\text{хнов}}$ - температура холодного повітря, визначається за формулою:

$$t_{\text{хнов}} = t_{\text{знов}} + \Delta t_{\text{дв}},$$

де $t_{\text{хнов}}$ - температура зовнішнього повітря, °С, визначається шляхом виміру;

$\Delta t_{\text{дв}}$ - нагрів повітря в дуттьових вентиляторах, °С.

$\alpha_{\text{відх}}$ - коефіцієнт надлишку повітря в відхідних газах за останньою поверхнею нагріву котла, визначається шляхом виміру, газоаналізатором.

4) Величина втрат тепла з хімічним недопалом визначається за формулою (при відсутності в продуктах згоряння метану):

$$q_3 = \frac{35 \cdot \text{CO}}{\text{CO} + \text{CO}_2}, \quad (2.5)$$

де CO - концентрація оксиду вуглецю в продуктах згоряння, %, вимірюється за останньою поверхнею нагріву котла, шляхом виміру, газоаналізатором;

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

CO_2 - концентрація двооксиду вуглецю в продуктах згоряння, %, вимірюється за останньою поверхнею нагріву котла, шляхом виміру, газоаналізатором.

При наявності в продуктах згоряння метану:

$$q_3 = (3,02 \cdot CO + 2,58 \cdot H_2 + 8,55 \cdot CH_4) \cdot h, \quad (2.6)$$

де H_2 - концентрація водню в продуктах згоряння, %, вимірюється за останньою поверхнею нагріву котла, шляхом виміру, газоаналізатором;

CH_4 - концентрація метану в продуктах згоряння, %, вимірюється за останньою поверхнею нагріву котла, шляхом виміру, газоаналізатором;

h - коефіцієнт розведення продуктів згоряння, %, визначається за формулою:

$$h = \frac{RO_2^{\max}}{RO_2 + CO_2 + CH_4}, \quad (2.7)$$

де RO_2 - об'ємний вміст трьохатомних газів в сухих продуктах згоряння, %, вимірюється за останньою поверхнею нагріву котла, шляхом виміру, газоаналізатором;

$RO_2^{\max} = 11,8\%$ - максимальний об'ємний вміст трьохатомних газів в сухих продуктах згоряння при відсутності хімічної та механічної неповноти згоряння та $\alpha = 1,0$, %.

5) Втрати теплоти від охолодження зовнішніх поверхонь котла q_5 визначається шляхом інтерполяції в усьому діапазоні навантажень.

6) Витрата палива за зворотним балансом, $m^3/\text{год}$:

$$B_r = \frac{Q_k}{Q_n^p \cdot \eta} \quad (2.8)$$

де Q_k - теплове навантаження котла, Гкал/год;

Q_n^p - калорійність палива, Гкал/ m^3 ;

η - ККД котла (брутто).

6) Питома витрата умовного палива на вироблення 1 Гкал тепла, кг.у.п/Гкал:

$$b = \frac{10^6}{7000 \cdot \eta}, \quad (2.9)$$

де 7000 - калорійність умовного палива, ккал/кг;

η - ККД котла (брутто).

7) Масова концентрація оксидів азоту (оксидів вуглецю) в відхідних газах при коефіцієнті надлишку повітря рівному одиниці, mg / m^3 :

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$C_{\alpha=1} = C \cdot h, \quad (2.10)$$

де C - масова концентрація оксидів азоту (оксидів вуглецю), мг/м³;

h - коефіцієнт розбавлення;

8) Питомі викиди оксидів азоту (оксидів вуглецю), мг/кВт*год, визначаються за формулою:

$$b = \frac{3,6 \cdot C_{\alpha=1} \cdot (100 - q_4)}{L \cdot \eta}; \quad (2.11)$$

де η – ККД котла, %;

q_4 - втрати тепла з механічним недопалом;

L - нижча теплота згоряння палива, віднесена до обсягу сухих продуктів згоряння, МДж/м³.

9) Визначення секундного викиду, г/с:

$$M_c = \frac{b \cdot Q_k}{3600}; \quad (2.12)$$

де b - питомий викид шкідливої речовини на 1 Гкал тепла;

Q_k - теплопродуктивність котла, Гкал/год. [21]

2.4.1 Загальні результати режимних випробувань

Далі наведені в табличному вигляді вихідні дані табл.2.5-2.7 та результати розрахунку табл. 2.8 для різних режимів роботи котельного агрегату.

Таблиця 2.5 – Вхідні дані для режиму 1

Найменування величин	Позначення	Розмірність	Значення
Температура мережної води до котла	$T_{м.в.}$	°С	54
Температура мережної води після котла	$T'_{м.в.}$	°С	93,0
Температура відхідних газів	$T_{відх}$	°С	102,0
Температура холодного повітря	$T_{х пов}$	°С	22,0
Витрата мережної води	$D_{м.в.}$	кг/с	313,9
Вміст кисню в відхідних газах	$r(O_2)$	%	6,7
Вміст CO в відхідних газах	$m(CO)$	мг/м ³	54,0
Вміст NOx в відхідних газах	$m(NO_x)$	мг/м ³	195,0
Калорійність газу	Q_H	кДж/кг	25440,0
Барометричний тиск	P	мм.рт.ст.	744,0
Нижча теплота спалювання, віднесена до об'єму сухих продуктів спалювання при $\alpha=1$	L	МДж/м ³	34,384

Таблиця 2.6 – Вхідні величини для режиму 2

Найменування величин	Позначення	Розмірність	Значення
Температура мережної води до котла	$T_{м.в.}$	°C	54,0
Температура мережної води після котла	$T'_{м.в.}$	°C	104,0
Температура відхідних газів	$T_{відх}$	°C	114,0
Температура холодного повітря	T_x пов	°C	22,0
Витрата мережної води	$D_{м.в.}$	кг/с	313,9
Вміст кисню в відхідних газах	$r(O_2)$	%	2,5
Вміст CO в відхідних газах	$m(CO)$	мг/м ³	59,0
Вміст NO_x в відхідних газах	$m(NO_x)$	мг/м ³	225,0
Калорійність газу	Q_H	кДж/кг	25440,0
Барометричний тиск	P	мм.рт.ст.	744
Нижча теплота спалювання, віднесена до об'єму сухих продуктів спалювання при $\alpha=1$	L	МДж/м ³	34,384

Таблиця 2.7 – Вхідні величини для режиму 3

Найменування величин	Позначення	Розмірність	Значення
Температура мережної води до котла	$T_{м.в.}$	°C	54,0
Температура мережної води після котла	$T'_{м.в.}$	°C	135,0
Температура відхідних газів	$T_{відх}$	°C	152,0
Температура холодного повітря	T_x пов	°C	22,0
Витрата мережної води	$D_{м.в.}$	кг/с	313,9
Вміст кисню в відхідних газах	$r(O_2)$	%	2,0
Вміст CO в відхідних газах	$m(CO)$	мг/м ³	72,0
Вміст NO_x в відхідних газах	$m(NO_x)$	мг/м ³	246,0
Калорійність газу	Q_H	кДж/кг	25440,0
Барометричний тиск	P	мм.рт.ст.	744
Нижча теплота спалювання, віднесена до об'єму сухих продуктів спалювання при $\alpha=1$	L	МДж/м ³	34,384

Таблиця 2.8 – Результати розрахунків для режимів 1-3

Найменування величин	Позначення	Розмірність	Значення		
			1	2	3
Надлишок повітря в відхідних газах	$\alpha_{вг}$	-	1,42	1.24	1.16
Теплонавантаження котла	$Q_{ка.бр}$	МВт	52,52	67.12	108.15
Втрата тепла з відхідними газами	$q_{2ф}$	%	5,639	5.572	6.983
Втрата тепла від хімнодопалу	q_3	%	0,0018	0,0018	0,0020
Втрата тепла в навколишнє середовище	q_5	%	0.05	0.05	0.05
ККД котла "брутто"	$\eta_{ка ф}$	%	94.293	94.36	92.947
Питома витрата ум.палива на вироб.1 ГДж факт.	$b_{ум ф}$	кг уп/ГДж	632,206	632.206	640,58
Витрата палива по зворот. балансу	$B_{г}$	кг/с	1,1953	1.527	2.5008
Коефіцієнт розбавлення	h	-	1,47	1.27	1.17
Масова концентрація NO_x при $O_2=3\%$	C_{NO_x}	мг/м ³	245,9	245,1	246,8
Масова концентрація CO при $O_2=3\%$	C_{CO}	мг/м ³	68,1	64,2	72,2
Питомий викид NO_x	b_{NO_x}	мг/кВт*год	261,0	260,0	266,0
Питомий викид CO	b_{CO}	мг/кВт*год	72,0	68,0	78,0
Питомий викид NO_x	b_{NO_x}	г/ГДж	72,4897	72,227	73,899
Питомий викид CO	b_{CO}	г/ГДж	19,944	18,893	21,663
Секундний викид NO_x	M_{NO_x}	г/с	3,81	4,85	7,99
Секундний викид CO	M_{CO}	г/с	1,05	1,27	2,34

2.5 Розрахунок основних параметрів штатного пальника

1) Об'ємна витрата газу:

$$V_g = 3925,0 \frac{M_n^3}{год} = 1,09 \frac{M_n^3}{с}.$$

2) Площа поперечного перерізу по газу знайдемо за формулою:

$$f_g = n \cdot \frac{\pi d_g^2}{4}, \quad (2.13)$$

де n – кількість газових отворів, $n = 20$;

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

d_z – діаметр газових отворів, $d_z = 18 \text{ мм}$;

$$f_z = 20 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,018^2}{4} = 0,00508 \text{ м}^2.$$

3) Швидкість виходу газу з отвору для його підводу:

$$W_z = \frac{V_z}{f_z}, \quad (2.14)$$

$$W_z = \frac{1,09}{0,00508} = 214,3 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

4) Прохідний переріз пальника по повітря складається з поперечного перерізу в реєстрі та в трубі первинного повітря:

$$f_{нов} = f_{рег} + f_{перв.пов.}; \quad (2.15)$$

де $f_{рег}$ – площа прохідного перерізу реєстра;

$f_{перв.пов.}$ – поперечний переріз в трубі первинного повітря:

$$f_{перв.пов.} = \frac{\pi \cdot d_{перв.пов.}^2}{4}, \quad (2.16)$$

де $d_{перв.пов.}$ – внутрішній діаметр патрубку первинного повітря;

$$f_{перв.пов.} = \frac{3,14 \cdot 0,272^2}{4} = 0,058 \text{ м}^2,$$

$$f_{рег} = \frac{\pi \cdot (D^2 - d_3^2)}{4} - (D - d_3) \cdot \delta_{л} \cdot n_{л} \quad (2.17)$$

$$f_{рег} = \frac{3,14 \cdot (0,596^2 - 0,28^2)}{4} - (0,596 - 0,28) \cdot 0,003 \cdot 18 = 0,2 \text{ м}^2,$$

де D – внутрішній діаметр реєстра;

d_3 – зовнішній діаметр патрубку первинного повітря;

$n_{л}$ – кількість лопаток; $\delta_{л}$ – товщина лопаток;

Прохідний переріз пальника по повітря:

$$f_{нов} = 0,058 + 0,2 = 0,258 \text{ м}^2.$$

Проводимо обробку результатів розрахунку газоподібного палива в табличній формі (табл. 2.9):

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Компонент	м³ в 100 м³ в	Реакція горіння	Повітря, м³ в 100 м³ в				Продукти горіння, м³ в 100 м³ в				
			O₂	N₂	V _{пов.}	V _{дог.}	RO₂	O₂	N₂	H₂O	V _{дог.}
CH₄	97,995	CH₄ + 2 O₂ = CO₂ + 2 H₂O	195,99	736,922	932,912	97,995	97,995	–	736,922	195,990	1030,91
C₂H₆	0,772	C₂H₆ + 3,5 O₂ = 2 CO₂ + 3 H₂O	2,702	10,160	12,862	1,544	1,544	–	10,160	2,316	14,02
C₃H₈	0,261	C₃H₈ + 5 O₂ = 3 CO₂ + 4 H₂O	1,305	4,907	6,212	0,783	0,783	–	4,907	1,044	6,734
C₄H₁₀	0,093	C₄H₁₀ + 6,5 O₂ = 4 CO₂ + 5 H₂O	0,605	2,273	2,878	0,372	0,372	–	2,273	0,465	3,11
C₅H₁₂	0,019	C₅H₁₂ + 8 O₂ = 5 CO₂ + 6 H₂O	0,152	0,572	0,724	0,095	0,095	–	0,572	0,114	0,781
C₆H₁₄	0,025	C₆H₁₄ + 9,5 O₂ = 6 CO₂ + 7 H₂O	0,238	0,893	1,131	0,150	0,150	–	0,893	0,175	1,218
N₂	0,763	–	–	–	–	–	–	–	0,763	–	0,763
CO₂	0,059	–	–	–	–	0,059	0,059	–	–	–	0,059
O₂	0,013	–	–0,013	–0,049	–0,062	–	–	–	–0,049	–	–0,049
100 м³ в		α = 1,0; повітря сухе	200,979	755,678	956,657	100,998	100,998	0	756,441	200,104	1057,54
$\varepsilon' = \frac{B \cdot d_s}{804} = 11,899 \frac{\text{м}^3}{100 \text{ м}^3}$		α = 1,0; повітря вологе	200,979	755,678	968,556	100,998	100,998	0	756,441	212,003	1069,442
$\varepsilon'' = \frac{\alpha \cdot B \cdot d_s}{804} = 13,089 \frac{\text{м}^3}{100 \text{ м}^3}$		α = 1,1; повітря сухе	221,077	831,246	1052,323	100,998	100,998	20,098	832,009	200,104	1153,209
$\varepsilon''' = \frac{\alpha \cdot B \cdot d_s}{804} = 16,658 \frac{\text{м}^3}{100 \text{ м}^3}$		α = 1,1; повітря вологе	221,077	831,246	1065,412	100,998	100,998	20,098	832,009	213,193	1166,298
		α = 1,4; повітря сухе	281,371	1057,949	1339,320	100,998	100,998	80,392	1058,712	200,104	1440,206
		α = 1,4; повітря вологе	281,371	1057,949	1355,978	100,998	100,998	80,392	1058,712	216,762	1456,864

Таблиця 2.9 – Розрахунок повного горіння газоподібного палива

Результати розрахунку горіння газоподібного палива представлені в табл. 2.10

Таблиця 2.10 – Результати розрахунку горіння газоподібного палива

	$\alpha_1 = 1, \frac{M_n^3}{M_n^3}$	$\alpha_2 = 1,15, \frac{M_n^3}{M_n^3}$	$\alpha_2 = 1,4, \frac{M_n^3}{M_n^3}$
$V_{\text{пов}}$	9,686	10,654	13,560
$V_{\text{прзг}}$	10,694	11,663	14,569

1) Приймаю для штатного пальника стехіометричний коефіцієнт $9,535 \frac{M_n^3}{M_n^3}$.

2) Об'ємна витрата повітря:

$$V_{\text{нов}} = 9,535 \cdot V_z, \quad (2.18)$$

$$V_{\text{нов}} = 9,535 \cdot 1,09 = 10,393 \frac{M_n^3}{c} = 37415,3 \frac{M_n^3}{200}.$$

3) Швидкість виходу повітря з отвору підводу:

$$W_{\text{нов}} = \frac{V_{\text{нов}}}{f_{\text{нов}}}, \quad (2.19)$$

$$W_{\text{нов}} = \frac{10,39}{0,258} = 40,27 \frac{M}{c}.$$

Процеси аеро-, газодинаміки та сумішоутворення описуються складними математичними рівняннями. Тому їх можна досліджувати двома способами: моделювання на експериментальних стендах або за допомогою комп'ютерного моделювання. Розробка експериментальної установки потребує великих затрат часу та коштів. Тому раціонально на першому етапі дослідження зробити моделювання у сучасних САПР (Система автоматизованого проектування і розрахунку) тому, що вони забезпечують високу точність моделювання 3-D процесу та зручний вивід результатів у вигляді таблиць чи рисунків.

2.6 Розрахунок аеродинамічного опору штатного пальника

Метою аеродинамічного розрахунку пальника є вибір необхідних тягодуттьових пристроїв на основі визначення продуктивності тягової і дуттьової систем і перепаду тиску в газовому та повітряному трактах. Газо-мазутний пальниковий пристрій повинен забезпечувати оптимальні умови для правильного змішування палива з повітрям, горіння суміші і передачі теплоти від факела до теплосприймаючих поверхонь нагріву. Розрахунок проводимо для пальника РГМГ-30. Забір повітря проводиться з вулиці, з наступним підігрівом тракту з поділом його на ділянки.

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

За допомогою САПР «SolidWorks» була побудована модель штатного пальника РГМГ-30 (рис. 2.5). Необхідні для розрахунку конструктивні характеристики прийняті за відповідними кресленнями.

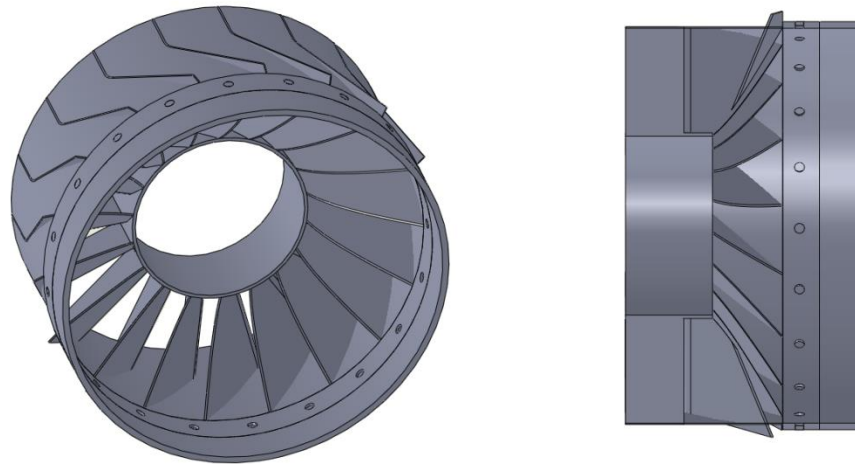


Рисунок 2.5 – Модель штатного пальника РГМГ-30

Розрахуємо аеродинамічний опір штатного пальника:

- 1) Площа входу та виходу з реєстра без врахування лопаток:

$$f_{p\text{вх}} = f_{p\text{вих}} = \frac{\pi}{4} (d_{\text{амбр}}^2 - D_{\text{втор}}^2), \quad (2.20)$$

$$f_{p\text{вх}} = f_{p\text{вих}} = \frac{3,14}{4} (0,7^2 - 0,323^2) = 0,224 \text{ м}^2.$$

- 2) Коефіцієнт місцевого опору на вході в реєстр:

$$\xi_{\text{вх}} = 1,2 \left(\frac{f_{p\text{вх}}}{f_{\text{напр вх}}} + 2 \right) \left(1 - \frac{f_{p\text{вх}}}{f_{\text{напр вх}}} \right), \quad (2.21)$$

$$\xi_{\text{вх}} = 1,2 \left(\frac{0,224}{0,258} + 2 \right) \left(1 - \frac{0,224}{0,258} \right) = 0,454.$$

- 3) Втулочне відношення реєстру:

$$\frac{r_{p\kappa}}{r_{p\text{и}}} = \frac{D_{\text{напр вх}}}{D_{\text{амбр}}}, \quad (2.22)$$

$$\frac{r_{p\kappa}}{r_{p\text{и}}} = \frac{0,323}{0,717} = 0,451.$$

- 4) Коефіцієнт місцевого опору в між лопаткових каналах:

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$\xi_{\text{л}} = \frac{\left[1 - \left(\frac{r_{\text{пк}}}{r_{\text{пн}}}\right)^2\right]^2 (2-m)^2 \operatorname{tg}^2 \varphi}{4 \left[1 - \left(\frac{r_{\text{пк}}}{r_{\text{пн}}}\right)^{2-m}\right]^2 m \left(\frac{r_{\text{пк}}}{r_{\text{пн}}}\right)^{2m}} - 1, \quad (2.23)$$

де φ – кут встановлення лопаток, $\varphi = 60^\circ$,

m – безрозмірний коефіцієнт, що розраховується за формулою:

$$m = \frac{\sin 2\varphi}{\left(2 - \sqrt{\cos \varphi}\right)^4}, \quad (2.24)$$

$$m = \frac{\sin 2 \cdot 60^\circ}{\left(2 - \sqrt{\cos 60^\circ}\right)^4} = 0,31;$$

$$\xi_{\text{л}} = \frac{\left[1 - (0,451)^2\right]^2 \cdot (2 - 0,31)^2 \cdot \operatorname{tg}^2 60^\circ}{4 \cdot \left[1 - (0,451)^{2-0,31}\right]^2 \cdot 0,31 \cdot (0,451)^{2 \cdot 0,31}} - 1 = 1,46.$$

5) Коефіцієнт місцевого опору на виході з реєстру:

$$\xi_{\text{вих}} = 2,4 \frac{f_{\text{рвх}}}{f_{\text{амбр}}} \left(\frac{f_{\text{рвх}}}{f_{\text{рвих}}} - \frac{f_{\text{рвх}}}{f_{\text{амбр}}} \right), \quad (2.25)$$

$$\xi_{\text{вих}} = 2,4 \cdot \frac{0,224}{0,258} \cdot \left(\frac{0,224}{0,224} - \frac{0,224}{0,258} \right) = 0,27.$$

6) Коефіцієнт місцевого опору реєстра складається з коефіцієнтів місцевих опорів на вході та виході і в між лопаткових каналах:

$$\xi_{\text{рег}} = \xi_{\text{вх}} + \xi_{\text{л}} + \xi_{\text{вих}}, \quad (2.26)$$

$$\xi_{\text{рег}} = 0,451 + 1,46 + 0,27 = 2,184.$$

7) Швидкість повітря на вході в реєстр:

$$W_{\text{рег}} = \frac{V_{\text{нов}}}{f_{\text{рвх}}}, \quad (2.27)$$

$$W_{\text{рег}} = \frac{10,393}{0,258} = 37,36 \text{ м/с}.$$

8) Аеродинамічний опір реєстру:

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$\Delta P_{\text{рег}} = \xi_{\text{рег}} \frac{\rho W_{\text{рег}}^2}{2}, \quad (2.28)$$

$$\Delta P_{\text{рег}} = 2,184 \cdot \frac{1,205 \cdot 37,36^2}{2} = 1759,0 \text{ Па}.$$

9) Аеродинамічний опір пальника по тракту первинного повітря:

$$\Delta P_{\text{перв}} = \Delta P_{\text{рег}}, \quad (2.29)$$

$$\Delta P_{\text{перв}} = 1759,0 \text{ Па}.$$

2.7 Розробка математичної моделі штатного пальникового пристрою ГРМГ-30 котла КВГМ-100 №4 на СТ «Біличі»

Для розрахунку фізичних процесів, що відбуваються у котлоагрегаті КВГМ-100 та вдосконалення його роботи, необхідно визначити основні параметри роботи у просторі та часі. Це можливо здійснити за допомогою математичного моделювання. Оскільки аеродинамічні та теплові процеси це – результат дії законів фізики, то найбільш достовірними фізичними процесами є ті, що можливо описати за допомогою диференціальних або інтегральних рівнянь (із залученням напівемпіричних і емпіричних констант і залежностей) з граничними і початковими умовами, що прив'язують дану математичну модель до поставленого конкретного фізичного (інженерного) завдання.

Оскільки системи диференціальних і інтегральних рівнянь, що використовуються в математичній моделі зазвичай не мають аналітичного рішення, вони зводяться до дискретного вигляду і вирішуються на деякій розрахунковій сітці. Рішення математичної задачі істотно залежить як від способу дискретизації рівнянь, так і від способу вирішення отриманих в результаті рівнянь. Очевидно, що рішення математичної задачі буде тим точніше, чим краще розрахункова сітка дозволяє дослідити області нелінійної поведінки коренів рівнянь, що, як правило, досягається використанням дрібнішої розрахункової сітки в цих областях.

Для моделювання поставленого інженерного завдання використано математичний апарат Flow Simulation, який входить в комплект програмного забезпечення SolidWorks [13]. Flow Simulation базується на останніх досягненнях обчислювальної газо- і гідродинаміки і дозволяє розраховувати широкий спектр процесів при різних конфігураціях течії та потоку.

У модельованому завданні рух плинного середовища моделюється за допомогою рівнянь Нав'є-Стокса, що описують в нестационарній постановці закони збереження маси, імпульсу і енергії цього середовища. Крім того, використовуються рівняння стану компонентів рухливого середовища, а також емпіричні залежності в'язкості і теплопровідності цих компонентів середовища від температури [13]. Цими рівняннями моделюються

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

турбулентні, ламінарні і перехідні (між ламінарними і турбулентними перехід визначається критичним значенням числа Рейнольдса) режими течії. Для моделювання турбулентних течій згадані рівняння Нав'є-Стокса усереднюються по значенню числа Рейнольдса, тобто використовується усереднений по малому масштабі часу вплив турбулентності на параметри потоку, а великомасштабні тимчасові зміни усереднених по малому масштабі часу складових газодинамічних параметрів потоку (тиску, швидкостей, температури) враховуються введенням відповідних похідних за часом. В результаті рівняння мають додаткові члени – напруга по Рейнольдсу, а для замикання цієї системи рівнянь в Flow Simulation використовуються рівняння перенесення кінетичної енергії турбулентності і її дисипації в рамках k - ϵ моделі турбулентності.

Ця система рівнянь збереження маси, імпульсу і енергії нестационарної просторової течії має наступний вигляд в рамках підходу Ейлера в декартовій системі координат $(x_i, i = 1, 2, 3)$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} (\rho u_k) = 0 \quad (2.30)$$

$$\frac{\partial (\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} (\rho u_i u_k - \tau_{ik}) + \frac{\partial P}{\partial x_i} = S_i \quad (2.31)$$

$$\frac{\partial (\rho E)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} ((\rho E + P) u_k + q_k - \tau_{ik} u_i) = S_k u_k + Q_H, \quad (2.32)$$

де t – час;

u – швидкість середовища;

ρ – густина середовища;

P – тиск середовища;

S_i – зовнішні масові сили, що діють на одиницю маси середовища, яке протікає:

$$S_i = S_{iporous} + S_{igravity} + S_{irotation}, \quad (2.33)$$

де $S_{iporous}$ – дія сили опору пористого тіла;

$S_{igravity}$ – дія сил гравітації;

$S_{irotation}$ – дія сил обертання системи координат;

E – повна енергія одиничної маси середовища;

Q_H – теплота, що виділяється джерелом в одиничному об'ємі середовища, яке протікає;

τ_{ik} – тензор напруги в'язкого зсуву,

q_j – дифузійний тепловий потік.

Для ньютонівських плинних середовищ тензор напруги в'язкого зсуву визначається таким чином:

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \delta_{ij} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij}, \quad (2.34)$$

де $\mu = \mu_l + \mu_t$,

μ_l - коефіцієнт динамічної в'язкості,

μ_t - коефіцієнт турбулентної в'язкості;

δ_{ij} - дельта-функція Кронекера ($\delta_{ij} = 1$ при $i=j$; $\delta_{ij} = 0$ при $i \neq j$),

k – кінетична енергія турбулентності, відповідно з k - ε моделлю турбулентності, визначається через величини кінетичної енергії турбулентності k і дисипації цієї енергії ε :

$$\mu_t = f_\mu \frac{C_\mu \rho k^2}{\varepsilon}, \quad (2.35)$$

де $C_\mu=0,09$;

$$f_\mu = \left[1 - \exp(-0.025 R_y) \right]^2 \cdot \left(1 + \frac{20.5}{R_T} \right), \quad R_y = \frac{\rho \sqrt{k} y}{\mu_l}, \quad R_T = \frac{\rho k^2}{\mu_l \varepsilon} \quad (2.36)$$

де y – відстань від поверхні стінки.

Кінетична енергія турбулентності k і дисипація цієї енергії ε визначаються в результаті вирішення наступних двох рівнянь:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} (\rho u_k k) &= \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\left(\mu_l + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \cdot \frac{\partial k}{\partial x_k} \right) + S_k \\ \frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} (\rho u_k \varepsilon) &= \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\left(\mu_l + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_k} \right) + S_\varepsilon \end{aligned} \quad (2.37)$$

$$S_k = \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon + \mu_l P_B,$$

$$S_\varepsilon = C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \left(f_1 \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \mu_t C_B P_B \right) - C_{\varepsilon 2} f_2 \frac{\rho \varepsilon^2}{k}.$$

$$\tau_{ij}^R = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \delta_{ij} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij};$$

$$P_B = - \frac{g_i}{\sigma_B} \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x_i}.$$

де g_i – складова гравітаційного прискорення в координатному напрямі x_i ,
 $\sigma_B = 0.9$, $C_B = 1$ при $P_B > 0$ та $C_B = 0$ при $P_B \leq 0$,

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$f_1 = 1 + \left(\frac{0.05}{f_\mu} \right)^3, f_2 = 1 - \exp(-R_T^2);$$

$$C_{\varepsilon 1} = 1.44;$$

$$C_{\varepsilon 2} = 1.92;$$

$$\sigma_\varepsilon = 1.3, \sigma_k = 1;$$

Дифузійний тепловий потік моделюється за допомогою рівняння

$$q_k = - \left(\frac{\mu_l}{Pr} + \frac{\mu_t}{\sigma_c} \right) c_p \frac{\partial T}{\partial x_k}, k = 1, 2, 3, \quad (2.38)$$

де $\sigma_c = 0.9$, Pr – число Прандтля,

c_p – питома теплоємність при постійному тиску,

T – температура плинного середовища.

Для моделювання ламінарних течій дана система рівнянь дещо модифікується, а саме вважається $\mu_t = 0$ і $k = 0$. За допомогою функції моделюється перехід ламінарної течії в турбулентну і навпаки. Ламінарні і турбулентні пограничні шари течії біля поверхонь твердого тіла, а також перехід ламінарного пограничного шару в турбулентний і, навпаки, турбулентний в ламінарний моделюються з високою точністю за допомогою модифікованих універсальних пограничних функцій.

Для стискуваних плинних середовищ використовується рівняння стану наступного вигляду $\rho = \rho(P, T, y)$, де $y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$ – вектор концентрацій компонентів плинного середовища.

Для газів використовується рівняння стану ідеального газу $\rho = P/(RT)$, де R – газова стала модельованого газу, яка для суміші газів визначається як $R = R_{унив} \sum_{i=1}^N \frac{y_i}{M_i}$, де M_i – молекулярна маса i -го компонента суміші. Для обліку залежності від температури використовується рівняння:

$$\rho = \left[\sum_{i=1}^N \frac{y_i}{\rho_{0i}} (1 + \beta_{Ti} (T - T_0)) \right]^{-1} \quad (2.39)$$

де β_{Ti} - коефіцієнт об'ємного теплового розширення i -го компонента;

ρ_{0i} - густина i -го компонента при деякій температурі T_0 .

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Разом з моделюванням дифузії тепла в плинному середовищі, моделюється також теплопередача в твердих тілах за допомогою рівняння

$$\frac{\partial \rho e}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + Q_H, \quad (2.40)$$

де $e = cT$, (c – питома теплоємність, T – температура);

λ – теплопровідність.

Конвективний теплообмін між поверхнею твердих тіл і плинним середовищем моделюється при моделюванні пограничного шару потоку плинного середовища.

Одночасно може моделюватися також радіаційний теплообмін між непрозорими для нього поверхнями твердих тіл. При цьому розглядається лише інтегральне, тобто сумарне по всіх довжинах хвиль, випромінювання. Випромінюючі тепло поверхні задаються абсолютно чорними, абсолютно білими або ідеально сірими, так що, відповідно до закону Ламберта, їх випромінювання передбачається дифузним, тобто з незалежною від напрямку випромінювання яскравістю. В результаті, відповідно до закону Стефана — Больцмана, випромінюване з одиниці поверхні тепло визначається як

$$Q_H = \varepsilon \sigma_0 T_w^4, \quad (2.41)$$

де ε – ступінь чорноти поверхні;

σ_0 – постійна Стефана-Больцмана;

T_w – температура поверхні.

Відповідно моделюється поглинання і відбиття радіаційного тепла поверхнями, що беруть участь в радіаційному теплообміні. Участь плинного середовища в радіаційному теплообміні не моделюється.

Для знаходження шуканого чисельного рішення задачі безперервна нестационарна математична модель фізичних процесів, що використовується в FlowSimulation, дискретизується як по простору, так і за часом (оскільки рух і теплообмін плинного середовища, а також теплопередача в твердому тілі моделюються як нестационарні, то рішення стаціонарних завдань визначається як стале за часом).

Для того щоб виконати дискретизацію по простору, вся розрахункова область покривається розрахунковою сіткою, грані комірок якої паралельні координатним площинам використаної в розрахунку декартової глобальної системи координат моделі в SolidWorks [13]. Оскільки в Flow Simulation використовується метод кінцевих об'ємів, коли значення незалежних змінних розраховується в центрах комірок, а не у вузлах рахункової сітки, то розрахункова сітка, що використовується в Flow Simulation описується її комірками, а не

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

вузлами, як в методах кінцевих різниць. Відповідно, комірки розрахункової сітки мають форму паралелепіпедів. Область, в якій ця сітка будується, так само має одноманітну для всіх завдань форму паралелепіпеда.

Для виконання дискретизації за часом, для кожної комірки розрахункової сітки в розрахунковій області з умови Куранта визначається допустимий максимальний крок за часом, залежний як від значень фізичних величин, так і від кроку дискретизації по простору в цій комірці. Якщо розраховується нестационарне завдання, то потім визначається мінімальний з визначених таким чином кроків за часом по всіх комірках розрахункової сітки в розрахунковій області і з цим кроком, однаковим для всіх комірок, виконується перехід (тобто розрахунок параметрів) до наступного моменту часу. Якщо вирішується стаціонарне завдання, то для прискорення встановлення рішення по часу кроки за часом в різних комірках розрахункової сітки в розрахунковій області різні, а саме визначаються з умови Куранта залежно від значень фізичних величин і кроку дискретизації по простору у комірці.

При дискретизації за часом використовується метод розщеплення операторів для ефективнішого розрахунку тиску і швидкості. Тиск розраховується в результаті вирішення дискретного еліптичного рівняння, отриманого алгебраїчними перетвореннями дискретних рівнянь збереження маси і імпульсу з врахуванням граничних умов для швидкості. В результаті, для розрахунку значень параметрів течії на черговому часовому шарі $(n+1)$ по відомих значеннях цих параметрів на попередньому часовому шарі (n) використовується наступна система алгебраїчних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \frac{U^* - U^n}{\Delta t} + A_h(U^n, p^n)U^* &= S^n; \\ L_h \delta p &= \frac{\operatorname{div}_h(\rho u)^*}{\Delta t} + \frac{1}{\Delta t} \frac{\rho^* - \rho^n}{\Delta t}; \\ \rho^* &= f(p^n + \delta p, T^*, y^*); \\ (\rho u)^{n+1} &= (\rho u)^* - \Delta t \cdot \operatorname{grad}_h \delta p; \\ p^{n+1} &= p^n + \delta p; \\ (\rho T)^{n+1} &= (\rho T)^*; (\rho k)^{n+1} = (\rho k)^*; (\rho \varepsilon)^{n+1} = (\rho \varepsilon)^*; (\rho y)^{n+1} = (\rho y)^* \\ \rho^{n+1} &= f(p^{n+1}, T^{n+1}, y^{n+1}) \end{aligned} \right\} (2.42)$$

де $U = (\rho u, \rho T, \rho k, \rho \varepsilon, \rho y)$ – вектор всіх незалежних змінних, окрім тиску p ;

$u = (u_1, u_2, u_3)$ – вектор швидкості;

$y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$ – вектор концентрацій компонентів плинного середовища;

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$\delta p = p^{n+1} - p^n$ – допоміжна змінна, поправка тиску. Індексом (*) позначені проміжні (між шарами n і $n+1$) значення змінних. Всі значення змінних відносяться до центрів розрахункових комірок. Дискретні оператори $A_h, div_h, grad_h$ та $L_h = div_h grad_h$ апроксимують відповідних диференціальних операторів з другим порядком точності [13].

2.8 Аналіз результатів моделювання аеродинамічних процесів у топці котлоагрегату зі штатною паливковою системою

В результаті моделювання аеродинамічних процесів у топці котлоагрегату зі штатною паливковою системою був отриманий розподіл швидкостей газоповітряної суміші (рис. 2.7–2.8).

Поле швидкостей газоповітряної суміші штатного паливника РГМГ-30 має нерівномірний розподіл у топці котельного агрегату КВГМ-100 (рис.2.7). Основна частина гарячого потоку продуктів згорання направляєтся зразу вгору, до конвективної частини котлоагрегату, в результаті чого викликає перегорання конвективних труб та необхідність їх щорічної заміни.

Подача газу в отвори підводу перпендикулярно до напрямку руху повітря призводить безпосереднього створення додаткового аеродинамічного опору паливника.

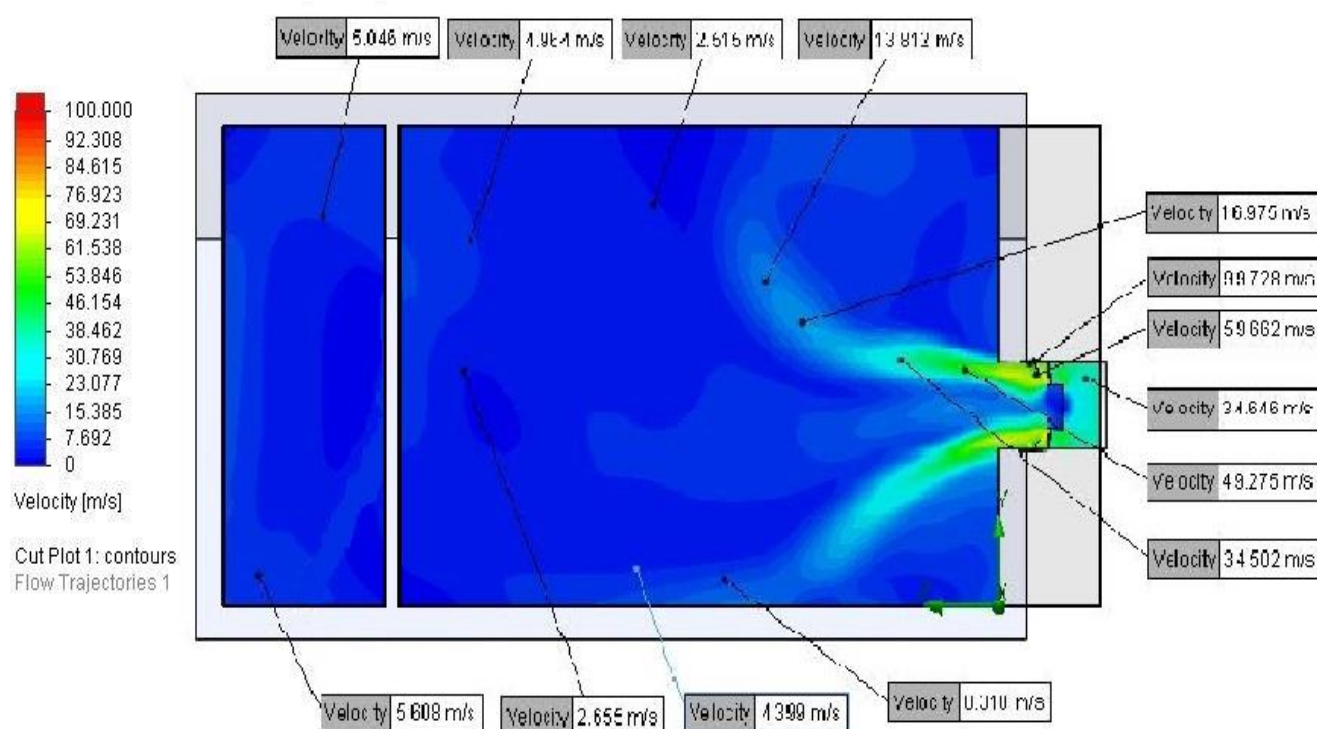


Рисунок 2.7 – Розподіл швидкостей газоповітряної суміші у топці котла при роботі паливника штатного типу у повздовжньому розрізі

На рис. 2.8 зображений розподіл швидкостей газоповітряної суміші у поперечному розрізі на вході у топку котлоагрегату.

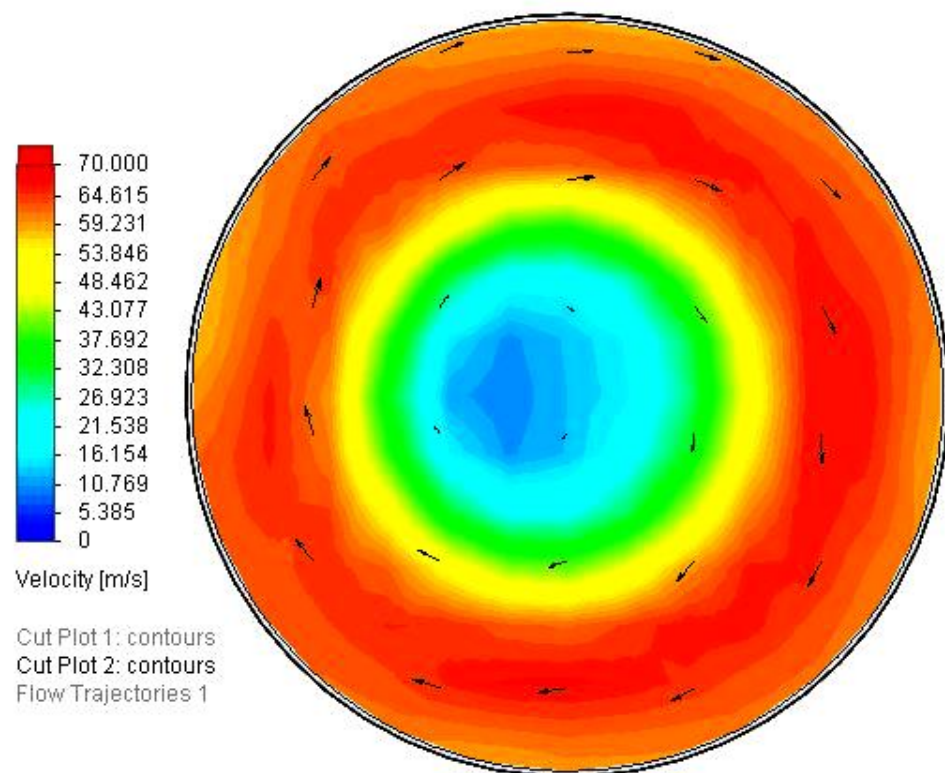


Рисунок 2.8 – Розподіл швидкостей газоповітряної суміші у пальнику штатного типу у поперечному розрізі на вході в топку котла

З рис. 2.8 видно, що результати математичного моделювання підтверджують розрахунки, а саме: значення середньої швидкості газоповітряної суміші на виході з пальникового пристрою складає близько 40 м/с та швидкість виходу вторинного повітря більша за швидкість виходу повітря з реєстру.

Похибка результатів вимірювань аеродинамічного опору пальника на моделі не відрізняється від розрахункових значень більше, ніж на 10%. Це свідчить про адекватність моделі.

На рис. 2.9–2.10 зображений розподіл концентрацій газу у топці котлоагрегату зі штатною пальниковою системою на базі пальників РГМГ-30.

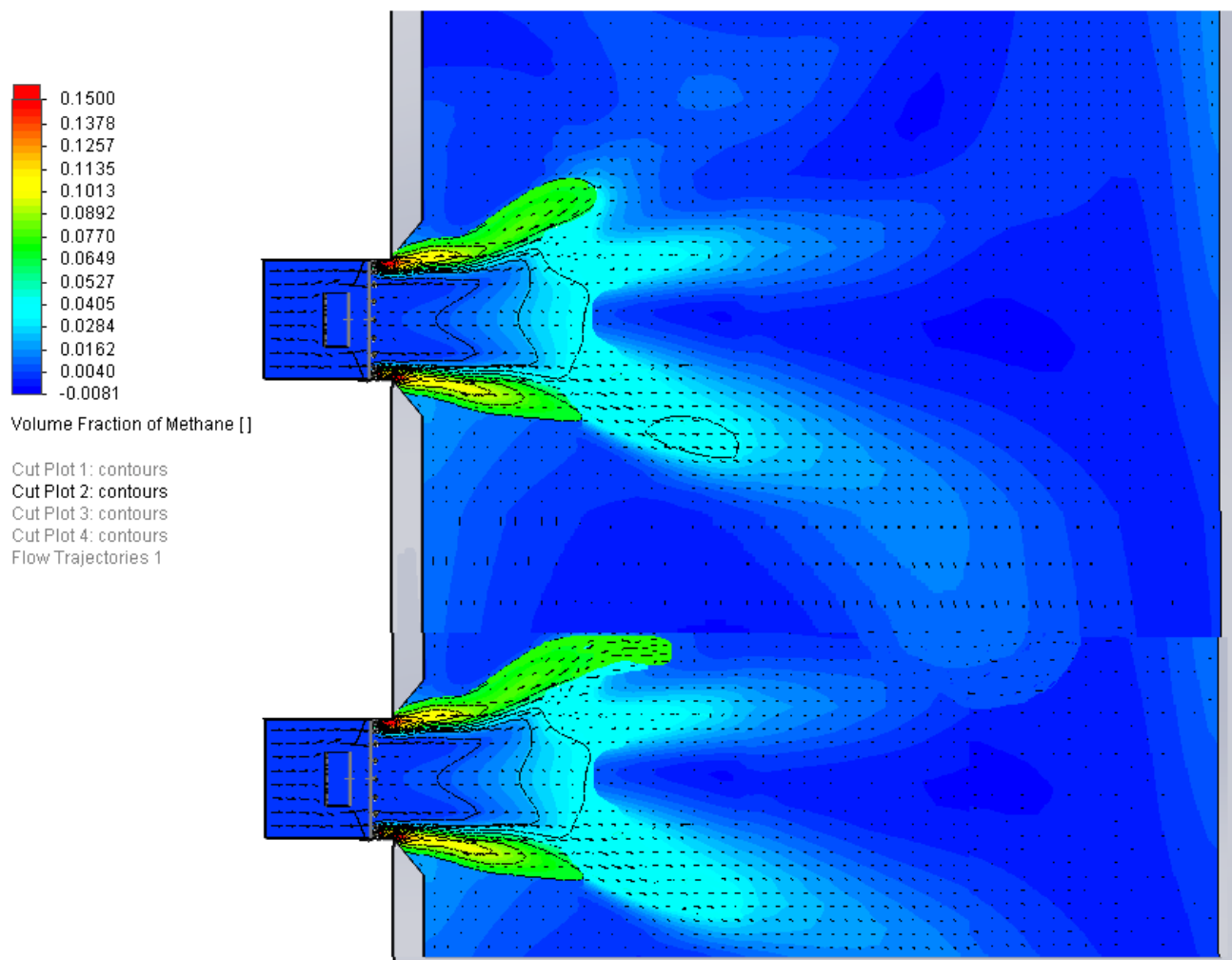


Рисунок 2.9 – Розподіл концентрацій газу у топці котла при роботі пальника штатного типу у повздовжньому розрізі

Як видно з рис. 2.9, штатна пальникова система характеризується нерівномірним полем концентрацій газу на вході у топку котельного агрегату та, як наслідок, неякісним сумішоутворенням. Оптимальна концентрація газу не досягається навіть на відстані до 1 м від амбразури пальника. Факели пальникових пристроїв, розташованих на одному рівні в топці котельного агрегату накладаються один на одного, що створює додаткове підвищення температури продуктів згорання та збільшує викиди оксидів азоту (NOX).

Через це відбувається відрив та проскакування полум'я, його пульсація. Тобто режим горіння нестабільний, що може призвести до погасання факелу та виникненню надзвичайної ситуації.

Якість змішування вторинного повітря з газоповітряною сумішшю низька, тому для штатної пальникової системи характерні високі значення коефіцієнтів надлишку повітря. Це призводить до збільшення втрат теплоти з відхідними газами та зменшенню ККД котла.

На рис. 2.10 зображений розподіл концентрацій газу у поперечному розрізі на вході у топку котлоагрегату при роботі пальника штатного типу.

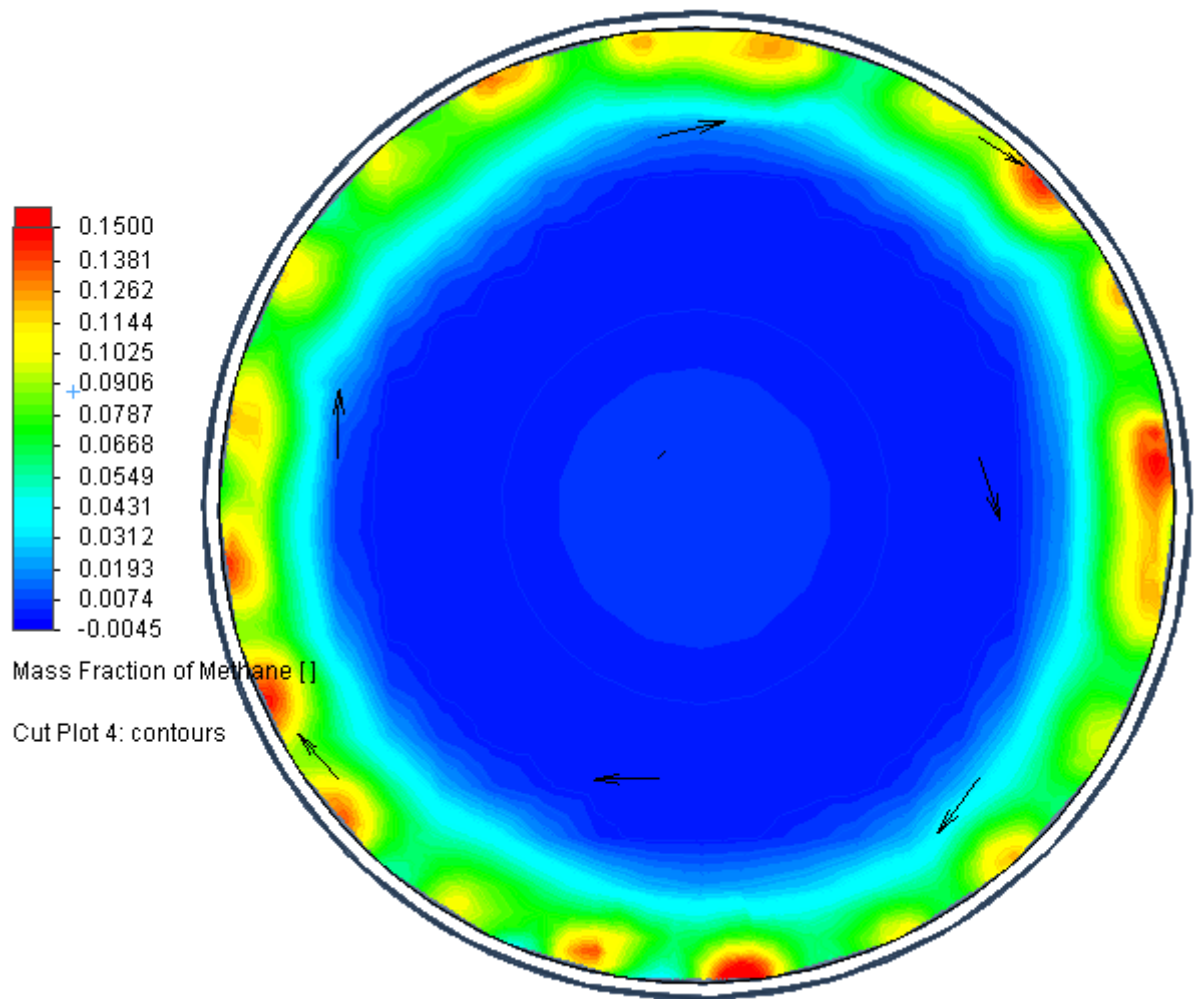


Рисунок 2.10 – Розподіл концентрацій газу у топці котла при роботі пальника штатного типу у поперечному розрізі на вході в котел

З рис 2.10 видно, що газ у паливоповітряній суміші в поперечному перерізі на виході з штатного пальника розподіляється нерівномірно по всьому перерізі. Внаслідок чого відбувається утворення монооксидів вуглецю CO навіть при значеннях коефіцієнту надлишку повітря значно більших за одиницю.

Недостатньо якісне сумішоутворення є причиною затягування факелу у конвективну частину котлоагрегату та перегорання його конвективних поверхонь теплообміну, що суттєво зменшує термін їх експлуатації та може призвести до виникнення надзвичайної ситуації.

Іншою суттєвою проблемою є те, що такий факел спричиняє нерівномірний розподіл температур по об'єму топки котлоагрегату. Це спричиняє локальний перегрів екранних труб, що зменшує термін їх експлуатації та знижує ККД котлоагрегату і відповідно всієї станції

теплозабезпечення «Біличі». Крім того, такий факел сприяє локальному підвищенню температури продуктів згорання внаслідок чого в цих зонах утворюються шкідливі для екології оксиди азоту (NO_x).

Розподіл тиску повітря у повздовжньому розрізі пальника зображено на рис. 2.11

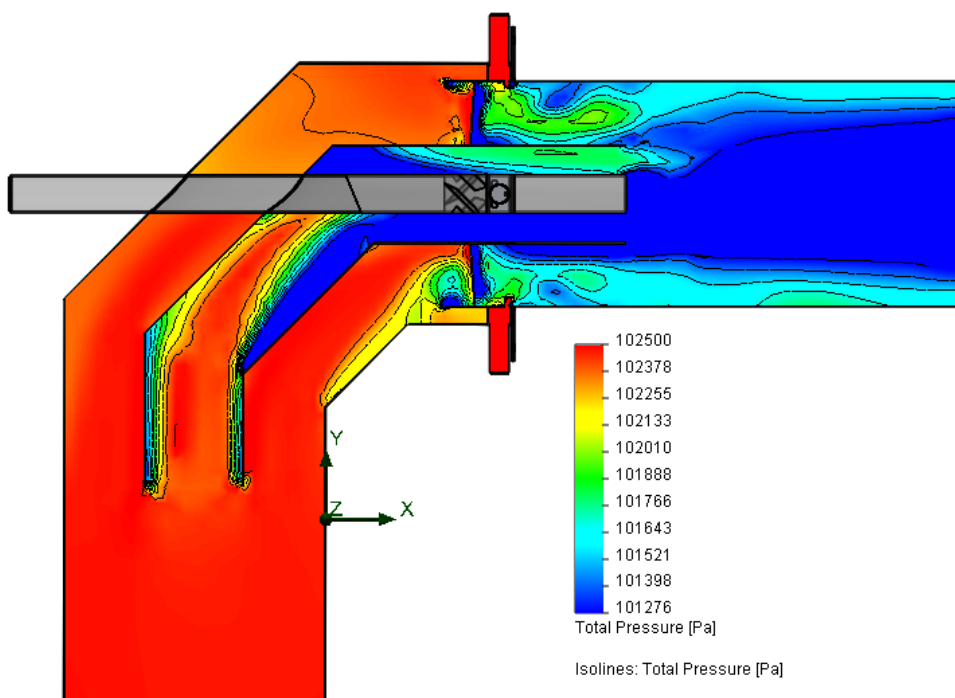


Рисунок 2.11– Розподіл тиску повітря у повздовжньому розрізі у штатному пальнику

2.9 Висновки з розділу 2

1. У розділі були розглянуті конструктивні характеристики котельного агрегату КВГМ-100 та конструктивні особливості штатного пальникового пристрою із пальниками РГМГ-30. Розрахункове значення аеродинамічного опору кожного пальника по первинному повітрю складає 1759 Па.

2. Для моделювання фізичних процесів, що відбуваються у котлоагрегаті використано математичний апарат Flow Simulation, який входить в комплект програмного забезпечення SolidWorks.

3. З отриманих розподілів швидкостей газоповітряної суміші та концентрацій газу у топці котлоагрегату КВГМ-100 можна зробити висновок, що при роботі штатних пальникових пристроїв котлоагрегат характеризується: низьким моторесурсом поверхонь нагріву, низьким ККД, високими значеннями питомих викидів шкідливих речовин у атмосферу.

Для вирішення цих проблем пропонується розробити пальниковий пристрій з використанням трубчастої технології газоспалювання для підвищення енерго-екологічних показників експлуатації котла КВГМ-100 №4 на СТ «Біличі».

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

3 РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ПО МОДЕРНІЗАЦІЇ ПАЛЬНИКОВОЇ СИСТЕМИ КОТЛА КВГМ-100 №4 на СТ «Біличі»

3.1 Загальні відомості про трубчасту технологію газоспалювання

Для водогрійних котлів встановлені відомі вимоги до пальникового пристрою [4], а саме:

- універсальність (можливість використання в різних топках);
- надійність (обмежене тепловиділення поблизу пальника при мінімальному проскакуванні факелу);
- стійкість запалювання і стабілізація фронту горіння в широких межах.
- простота конструкції;
- мінімальний аеродинамічний опір по повітряному тракту;
- забезпечення сумішоутворення заданої інтенсивності, достатнє для завершення горіння газу в конкретній установці;
- забезпечення повноти згорання газу при мінімальному можливому коефіцієнті надлишку повітря;
- забезпечення безшумності роботи і відсутність вібрацій в арматурі і всіх елементах;
- забезпечення збереження обладнання для інших видів палива;
- ремонтпридатність.

Природний газ вважається найбільш "чистим" з екологічного погляду органічним природним паливом, яке використовується на потужних підприємствах виробництва теплової та електричної енергії – ТЕС, ТЕЦ, РК. У той же час його спалювання у введених раніше традиційних паливоспалюючих пристроях не відповідає сучасним високим вимогам за ефективністю та екологічністю.

Існуючі методи зниження токсичності продуктів згорання вуглеводневих палив характеризуються великими витратами при їхньому впровадженні і для всіх відомих методів характерна селективність та неоднозначність впливу на різні токсичні складові продуктів згорання. Наприклад, всі технологічні прийоми зниження емісії оксидів азоту (NO_x) приводять до збільшення концентрації в продуктах згорання оксиду вуглецю (CO) та продуктів хімічного недопалу (C_xH_y). Крім того, в більшості випадків не вдається ефективно застосувати одні й ті ж методи та засоби зниження токсичності продуктів згорання в паливоспалюючих системах різного призначення. Це стосується так званих стехіометричних пальників (пальникові

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

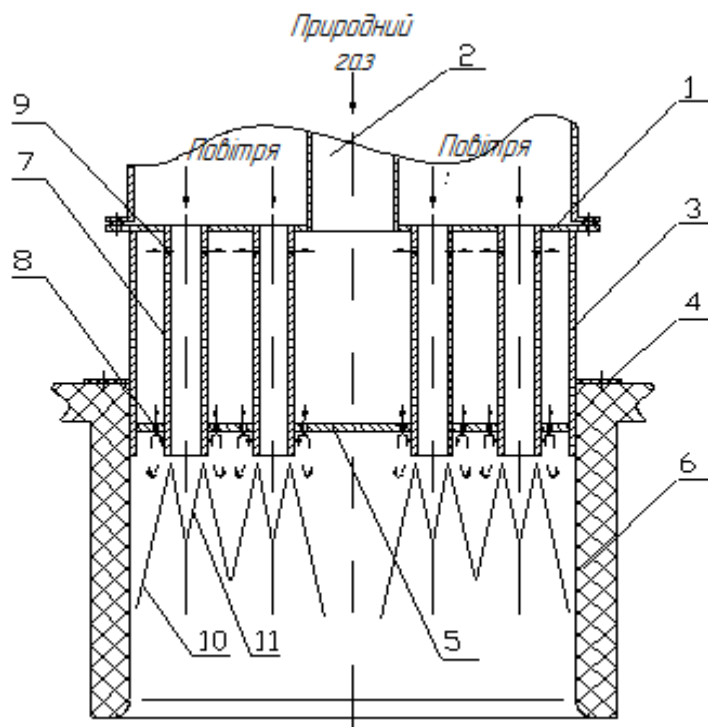
системи топок енергетичних котлів) та пальників, що працюють при високих надлишках повітря (камери згорання ГТУ та промислові теплогенератори).

Назріла об'єктивна необхідність створення і реалізації нових технологій спалювання природного газу, яка б відповідала окрім сформульованих вище, ще й наступним вимогам:

- Висока енерго-екологічна ефективність у процесі довгострокової експлуатації;
- Доступність та безпечність матеріалів для виготовлення.

Застосування мікрофакельного горіння є перспективним напрямком підвищення енерго-екологічної ефективності пікових водогрійних та парових котлів, але ефективність його застосування залежить від методів реалізації мікродифузійного горіння, що потребує відповідної попередньої дослідної перевірки в стендових умовах.

На основі наукових досліджень і розробок з урахуванням сучасних вимог щодо процесів спалювання газоподібного палива в НТУУ «КПІ» в науково-технічному центрі «Екотехнології та технології енергозбереження» створена нова вітчизняна високоефективна і екологічно безпечна універсальна технологія спалювання будь-яких газоподібних палив (природний газ, біогаз, газ-метан і тому подібне), яка дістала назву трубчастою у зв'язку з тим, що основним елементом в ній виступає трубчастий модуль (рис. 3.1) [12].



1 – передня трубна дошка; 2 – патрубок подачі природного газу; 3 – корпус пальника; 4 – фланець; 5 – задня трубна дошка; 6 – вогнетривкий тунель (або жарова труба); 7 – повітряні трубки; 8 і 9 – отвори для подачі газу; 10 – границя струменя; 11 – ядро струменя

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Рисунок 3.1 – Схема пальника на базі трубчастих модулів

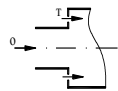
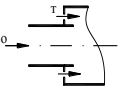
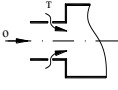
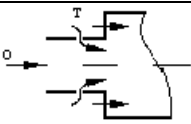
Трубчастий модуль має більш низький аеродинамічний опір у порівнянні зі струменевими і вихровими елементами, характеризується аеродинамічним опором практично однакового рівня з конічними елементами і плоскими стабілізаторами і трохи перевищує рівень опору плоского модуля (чи пілона) із закругленим входом і самого насадка Борда [12].

Крім значного меншого аеродинамічного опору, можна виділити наступні переваги трубчастих модулів:

- можливість використання як ізолюваного модуля, так і системи трубчастих модулів, сполучених паралельно в загальній трубній дощці з визначеним кроком;
- можливість використання не тільки різних схем подачі палива (дифузійної, попередньої і комбінований), але і додаткових конструктивних впливів на умови розвитку факела.

Розроблено і випробувано чотири основні види трубчастих модулів (табл. 3.1), використання яких у пристроях пальників різного типу дозволили істотно понизити емісію шкідливих речовин (оксидів азоту і вуглецю) за рахунок: комбінованого сумішоутворення - на 20÷30%; стадійного горіння – на 20÷30%; прямоточності (зниження часу знаходження суміші в зоні горіння) – на 20%.

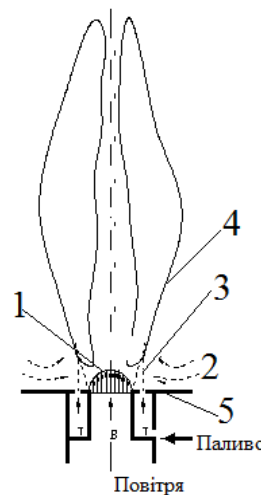
Таблиця 3.1 – Основні типи трубчастих модулів

Тип модуля	Особливості утворення суміші	Конфігурація модуля
ТМД	Дифузійне без внутрішньої насадки	
ТМДН	Дифузійне із внутрішньою насадкою	
ТМП	Попереднє без внутрішньої насадки	
ТМК	Комбіноване	

Унікальні аеродинамічні та екологічні властивості робочого процесу спалювання газоподібного палива в трубчастих модулях дозволяють ефективно використовувати їх у

системах паливників парових і водогрійних котлів, теплогенераторів поверхневого та контактного типів, газотурбінній техніці.

Використання модулів ТМДН, ТМП та ТМК забезпечує значно коротший факел в порівнянні з використанням модуля ТМД. Ці модулі використовуються у газотурбінній техніці. Оскільки в котлах коефіцієнти надлишку повітря значно менші та, як наслідок, температура факелу більша, то використання цих модулів на обладнанні що розглядається буде викликати локальні перегріви екранних труб котла. Крім того, технологія виробництва модуля ТМД значно простіша, а тому має меншу вартість. На підставі викладеного обрано для розгляду та розрахунку трубчатий модуль з дифузійним сумішоутворенням без насадки (рис. 3.2).



- 1 – епіюра швидкості; 2 – ежекція повітря; 3 – вісь газового струменя;
4 – область горіння; 5 – трубна дошка

Рисунок 3.2 – Схема розвитку дифузійних факелів у трубчастому модулі без насадки

При одноструменевій подачі повітря і багатоструменевій подачі палива реалізується ефект “обгортання” газовими струменями центрального повітряного струменя. У результаті інтенсивного перемішування в пограничному шарі повітряного струменя виникають локальні дифузійні факели, що зникаються та утворюють практично однорідну інтегральну систему факелів.

Універсальність характеристик $NO_x = f(\alpha)$ і $CO = f(\alpha_m)$ дозволяє використовувати трубчасті модулі не тільки при створенні стехіометричних паливників ($\alpha_t = 1,0$), але і паливоспалюючих пристроїв, що працюють при високих надлишках повітря ($\alpha_0 > 1,0$) [12,17,18].

Після ряду досліджень, отриманий комплекс переваг трубчастої технології, а саме:

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- 1) Можливість комплексного використання класичних та додаткових методів і способів підвищення екологічності спалювання газоподібного палива за рахунок:
 - прямоточності руху газоповітряної суміші,
 - комбінованого сумішоутворення (попереднього і дифузійного)
 - стадійності і мікрофакельності спалювання, високій турбулізації і внутрішній рециркуляції потоку;
- 2) Високий рівень рівномірності температурного поля в зоні горіння;
- 3) Поліпшення техніко-експлуатаційних показників роботи устаткування (зменшення шуму, вібрації), що позитивно впливають на моторесурс;
- 4) Можливість створення пальникових пристроїв необмеженої теплової потужності з незмінно високим рівнем енергетичної ефективності і екологічної безпеки;
- 5) Широкий спектр регулювання навантаження установки (10...100%) при незмінно високому рівні екологічності спалювання палива;
- 6) Можливість проведення швидкої і недорогої модернізації установки за рахунок використання доступних матеріалів і нескладних технологічних операцій;
- 7) Незначний термін окупності заходів щодо модернізації (5...10 міс.);
- 8) Можливість збереження обладнання для інших видів палива.

Вищевказані переваги дозволяють стверджувати, що розроблена трубчаста технологія повною мірою задовольняє сучасним світовим вимогам по ефективності і екологічній безпеці і може бути реалізована в паливоспалюючих пристроях і пов'язаних із ними промислових теплоенергетичних системах широкого призначення.

3.2 Розрахунок основних параметрів пальникової системи трубчастого типу для котла КВГМ-100

Завдяки перевагам у конструкції та способі підводу повітря та газу пальник трубчастого типу не потребує зміни конструкції амбразури котла. Для подальших розрахунків в роботі прийнято значення діаметру амбразури пальникового пристрою 717 мм.

Оскільки мазут у якості палива для котла КВГМ-100 не використовується, то в подальших розрахунках розглядаємо пальник трубчастого типу без мазутної форсунки.

Розрахуємо параметри пальника трубчастого типу:

- 1) Використаємо пальник з трубками по повітрю з $d_{\text{внутр}} = 36$ мм.
- 2) Кількість трубок по повітрю складає $N_{\text{пов}}^{\text{заг}} = 132$ шт.
- 3) Кількість отворів по газу складає $N_{\text{г}}^{d=3} = 282$ шт. з діаметром $d=3$ мм (дифузійна подача газу) і $N_{\text{г}}^{d=2} = 396$ шт. з діаметром $d=2$ мм (попередня подача газу). Всі параметри зведені в табл. 3.2.

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2 – Загальні конструктивні дані пальника.

Параметр	Одиниці	Значення
Діаметр пальника	мм	717,0
Довжина пальника	мм	180,0
Виступ повітряної трубки із амбразури	мм	10,0
Витрата газу	м ³ /год	3925,0
Витрата повітря	м ³ /год	37415,3
Кількість повітряних отворів	шт.	132
Кількість газових отворів:		
попередня подача;	шт.	396
дифузійна подача.	шт.	282

- 4) Площа поперечного перерізу однієї трубки по повітрю:

$$f_{нов}^{mp} = \frac{\pi \cdot (d_{нов}^{mp})^2}{4}. \quad (3.1)$$

де $d_{нов}^{tp}$ – внутрішній діаметр трубки по повітрю, м.

- 5) Площа поперечного перерізу по повітрю на виході з пальника:

$$f_{нов}^{mp'} = f_{нов}^{mp} \cdot N_{нов}^{заг}. \quad (3.2)$$

- 6) Площа поперечного перерізу одного отвору по газу:

$$f_z^{mp} = \frac{\pi \cdot (d_z^{mp})^2}{4}. \quad (3.3)$$

- 7) Загальна площа поперечного перерізу по газу:

$$f_z = f_z^{mp} \cdot N_z^{заг}. \quad (3.4)$$

- 8) Приймаємо для трубчатого пальника стехіометричний коефіцієнт рівний 9,535.
Об'ємна витрата повітря

$$V_{нов}^{mp} = 9,535 \cdot V_z, \quad (3.5)$$

$$V_{нов}^{tp} = 9,535 \cdot 1,09 = 10,39 \text{ м}^3/\text{с} = 37415,3 \text{ м}^3/\text{год}.$$

- 9) Швидкість виходу повітря з пальника:

$$W_{нов}^{mp} = \frac{V_{нов}}{f_{нов}^{mp'}}. \quad (3.6)$$

- 10) Швидкість виходу газу з отвору підводу:

$$W_z^{mp} = \frac{V_z}{f_z}. \quad (3.6)$$

Результати розрахунків для різних значень діаметрів прохідних отворів приведені в табл. 3.3-3.4.

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 3.3 – Розрахункові дані для попередньої подачі газу

Параметр	Одиниці	Позначення	Попередня подача газу				
Діаметр	мм	d_z	3	2,5	2	1,75	1,5
Витрата	м ³ /год	V_z	768	768	768	768	768
Витрата	м ³ /с	V_z	0,213	0,213	0,213	0,213	0,213
Кіл. отворів	шт.	N_z	396	396	396	396	396
Пл. попер. перерізу 1 от.,	м ²	$f_z \cdot 10^{-6}$	7,065	4,906	3,14	2,404	1,766
Пл. попер. перерізу загальна	м ²	f_z	0,00280	0,00194	0,00124	0,00095	0,00070
Швидкість	м/с	W_z	76,25	109,80	171,57	224,09	305,01

Таблиця 3.4 – Розрахункові дані для дифузійної подачі газу

Параметр	Одиниці	Позначення	Дифузійна подача газу					
Діаметр	мм	d_z	4	3,5	3	2,75	2,5	2
Витрата	м ³ /год	V_z	1792	1792	1792	1792	1792	1792
Витрата	м ³ /с	V_z	0,498	0,498	0,498	0,498	0,498	0,498
Кіл. отворів	шт.	N_z	282	282	282	282	282	282
Діаметр	м	d_z	0,004	0,0035	0,003	0,00275	0,0025	0,002
Пл. попер. перерізу 1 от.,	м ²	$f_z \cdot 10^{-6}$	12,56	9,616	7,065	5,937	4,906	3,14
Пл. попер. перерізу загальна	м ²	f_z	0,00354	0,00271	0,00199	0,00167	0,00138	0,00089
Швидкість	м/с	W_z	140,54	183,56	249,85	297,34	359,78	562,16

Попередня подача газу в повітряну трубку забезпечується трьома газовими трубками $d=2\text{мм.}$, опущеними на 3 мм в повітряний потік. Розріз повітряної трубки показано на рис. 3.3-3.4.

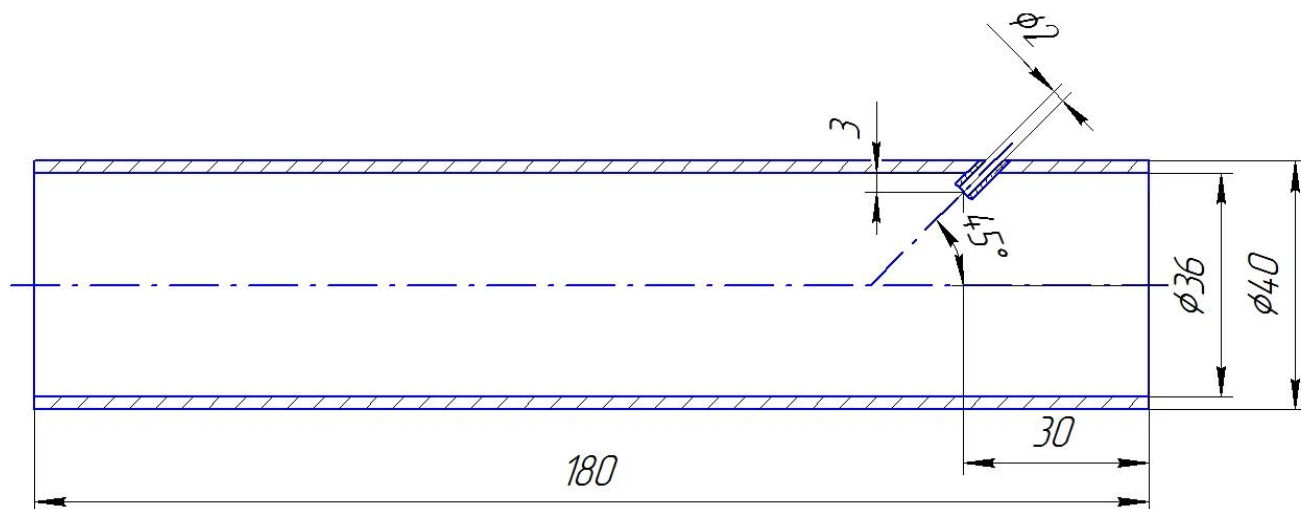


Рисунок 3.3 – Поздовжній розріз повітряної трубки

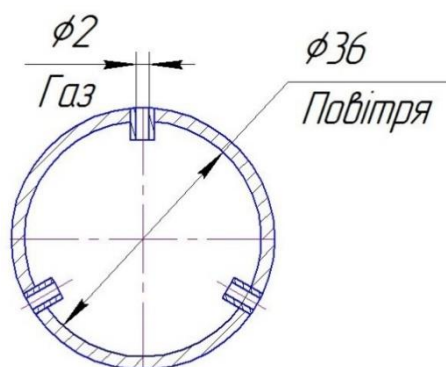


Рисунок 3.4 – Поперечний розріз повітряної трубки

За допомогою САПР «SolidWorks» був змодельований фрагмент пальника трубчастого типу, розріз якого зображений на рисунку 3.5.

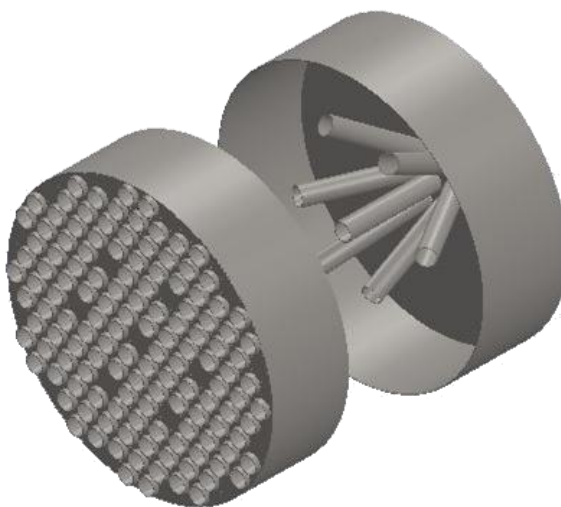


Рисунок 3.5 – Модель фрагменту трубчастого пальника

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

3.3 Розрахунок аеродинамічного опору пальника трубчастого типу

Розрахунок аеродинамічного опору трубчастого пальника наведений нижче.

- 1) Площа поперечного перерізу патрубку підводу повітря:

$$f_{напр} = \frac{\pi d_{напр}^2}{4}, \quad (3.9)$$

$$f_{напр} = \frac{3,14 \cdot 0,717^2}{4} = 0,403 \text{ м}^2.$$

- 2) Швидкість повітря в патрубку:

$$W_{напр} = \frac{V_{нов}}{f_{напр}}, \quad (3.10)$$

$$W_{напр} = \frac{10,39}{0,403} = 25,78 \text{ м/с}.$$

- 3) Число Рейнольдса в трубній системі:

$$Re_{тр} = \frac{W_{нов}^{тр} d_{нов}^{тр}}{\nu}, \quad (3.11)$$

$$Re_{тр} = \frac{57,8 \cdot 0,036}{15,06 \cdot 10^{-6}} = 138167.$$

- 4) За $Re_{тр} = 138167$ коефіцієнт лінійного опору патрубка $\lambda_{тр} = 0,017$.

- 5) Коефіцієнт закриття трубної дошки буде визначатися з рівняння

$$K_f = \frac{f_{нов}^{тр}}{f_{напр}}, \quad (3.12)$$

$$K_f = \frac{0,131}{0,283} = 0,46$$

- 6) Довжини прямих ділянок трубної системи $l = 0,05 \text{ м}$

- 7) Коефіцієнт гідравлічних втрат трубної системи:

$$\xi_{тр} = [0,5 + K_f^{3/2} + K_f^2 + \lambda_{тр} \frac{l_3}{d_{нов}^{тр}}] / (1 - K_f)^2, \quad (3.13)$$

$$\xi_{тр} = [0,5 + 0,46^{1,5} + 0,46^2 + 0,017 \frac{0,05}{0,036}] / (1 - 0,46)^2 = 3,59.$$

- 8) Аеродинамічний опір пальника трубчастого типу:

$$\Delta P_{пальн} = (\xi_{напр} + \xi_{тр}) \frac{\rho W_{напр}^2}{2}, \quad (3.14)$$

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$\Delta P_{\text{пальн}} = 3,59 \cdot \frac{1,205 \cdot 25,78^2}{2} = 1437 \text{ Па}.$$

Результати розрахунків аеродинамічного опору пальника зводимо у табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Результати розрахунків аеродинамічного опору пальників штатного та трубчастого типу

	Штатний пальник	Пальник трубчастого типу
Аеродинамічний опір пальника, Па	1759	1437

Таким чином в порівнянні зі штатним пальником аеродинамічний опір пальника трубчастого типу менше на 18,3%.

3.4 Аналіз моделювання аеродинамічних процесів з пальниками трубчастого типу в котлі КВГМ-100

В результаті моделювання аеродинамічних процесів у топці котлоагрегату при роботі пальникового пристрою трубчастого типу був отриманий розподіл швидкостей газоповітряної суміші (рис. 3.6–3.8).

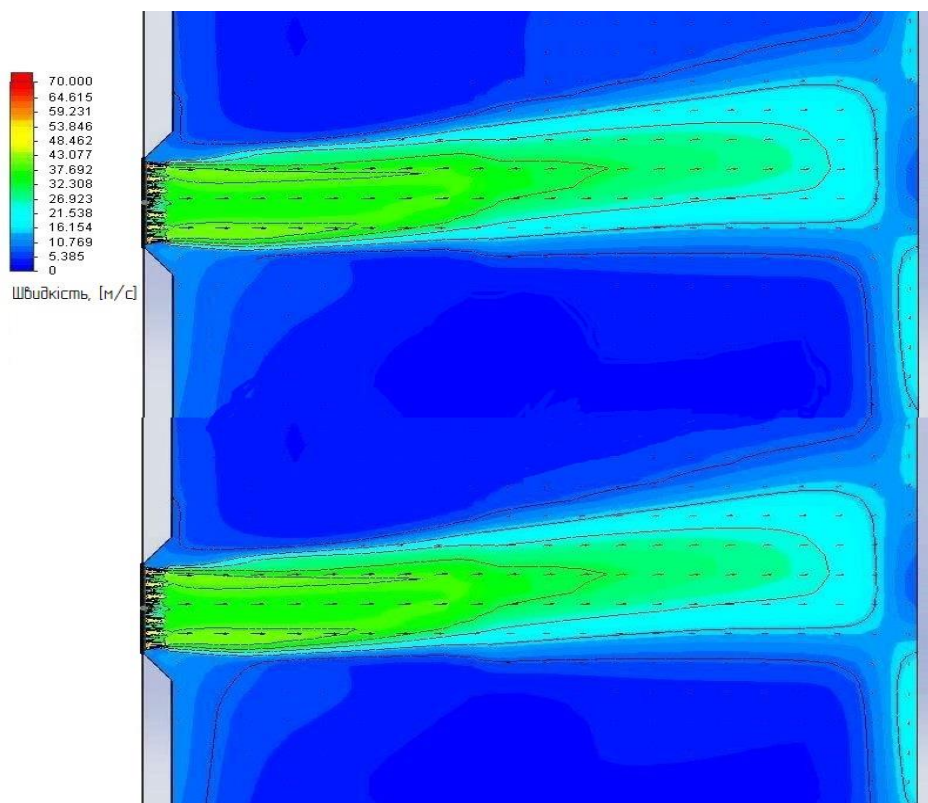


Рисунок 3.6 – Розподіл швидкостей повітря у топці котла при роботі пальника трубчастого типу у повздовжньому розрізі

При використанні системи трубчастих модулів у пальноковому пристрої виникають додаткові особливості розвитку факелів. У цьому випадку можлива організація регулярної структури факелів, що може бути створена за рахунок розміщення модулів з однаковим кроком (t) у вершинах рівносторонніх трикутників. При використанні трубчастих модулів можлива істотна зміна умов розвитку дифузійних факелів. Можливі модифікації дифузійних факелів в ізолюваному трубчастому модулі (затоплений струмінь)

Як бачимо з рис. 3.7, пальник трубчастого типу має рівномірний розподіл швидкостей газоповітряної суміші у топці котельного агрегату. Потік продуктів згорання рухається горизонтально у напрямку до протилежних фронтальних екранних труб, охолоджуючись на своєму шляху за рахунок тепловіддачі випромінюванням до екранних труб котлоагрегату.

На рис. 3.8 у збільшеному вигляді зображений розподіл швидкостей газоповітряної суміші на виході з пальника та на вході у топку котлоагрегату.

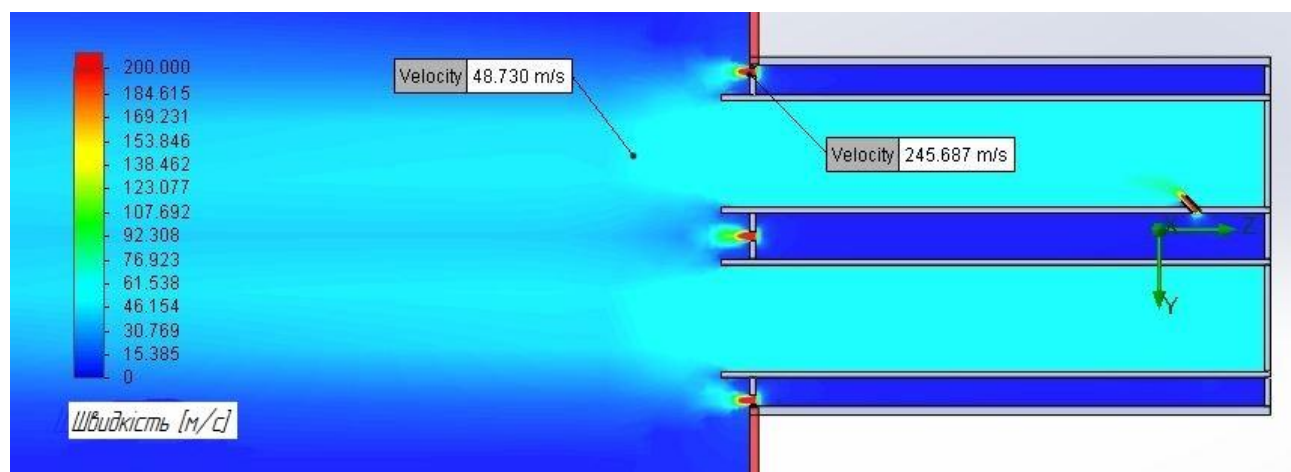


Рисунок 3.7 – Розподіл швидкостей повітря на виході з пальника трубчастого типу у повздовжньому розрізі

Як видно з рис. 3.8, газ виходить з отворів підводу паралельно руху повітря. Таким чином не виникає додатковий аеродинамічний опір по тракту руху повітря.

Швидкість виходу газу більша за швидкість виходу повітря. Однак вже на невеликій відстані від пальнового пристрою швидкість газоповітряної суміші стає рівномірною внаслідок якісного перемішування (рис. 3.9). Так, при роботі штатних пальників факели біля амбразури мають розшарування, відсутнє стабільне полум'я і димові гази за рахунок об'ємних вихорів віджимаються до стінок котла. Димові гази із значним змістом горючих елементів переносяться у зону конвективної поверхні нагріву, де відбувається їх доспалювання.

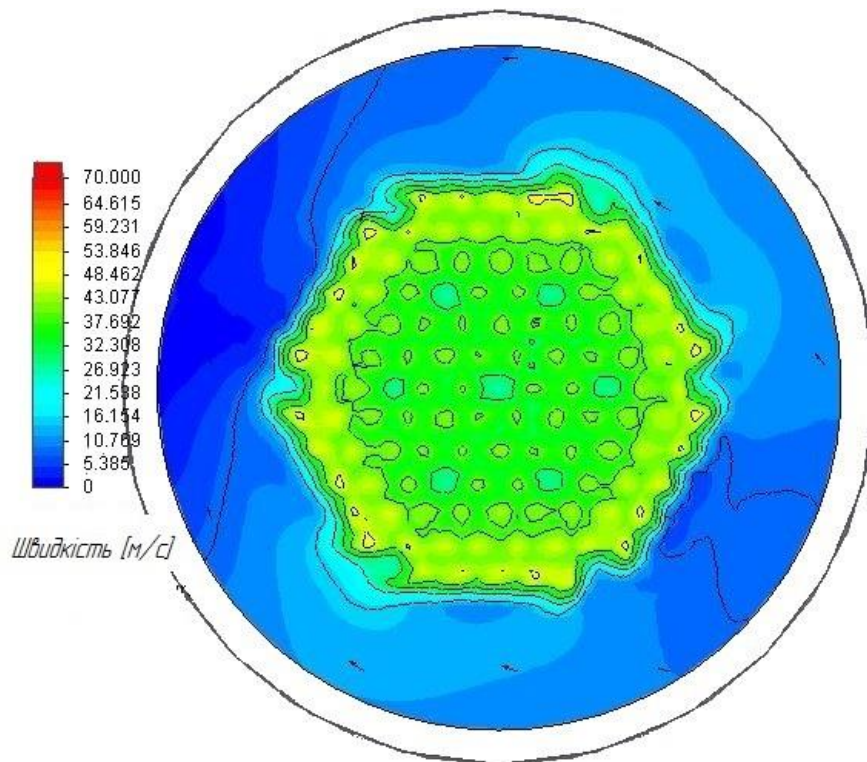


Рисунок 3.8 – Розподіл швидкостей повітря у топці котла при роботі пальника трубчастого типу у поперечному розрізі

Трубна система пального пристрою виступає у ролі стабілізатора потоку повітря, забезпечуючи рівномірний розподіл повітря в повітряних трубках. Завдяки підводу газу до міжтрубного простору трубної системи пального пристрою сімома трубами досягається рівномірність розподілу газу у газовому просторі пальника та виходу газу з отворів підводу. Рівномірність поля швидкостей газоповітряної суміші у топці котлоагрегату досягається за рахунок використання прямоточності руху газоповітряної суміші.

На рис. 3.9–3.11 зображений розподіл концентрацій метану у топці котлоагрегату із пальновою системою трубчастого типу. Висока турбулентність основного потоку і наявність додаткової локальної турбулентності при подачі палива через отвори в трубній дошці, виникнення ефекту Коанда, а також наявність вторинних плинів (у вигляді тороїдальних вихорів) і високі стабілізаційні властивості сприяють збільшенню товщини прикордонного шару й інтенсифікації тепломасообмінних процесів на початковій ділянці повітряного струменя. Крім того внутрішня рециркуляція сприяє зниженню емісії оксидів азоту.

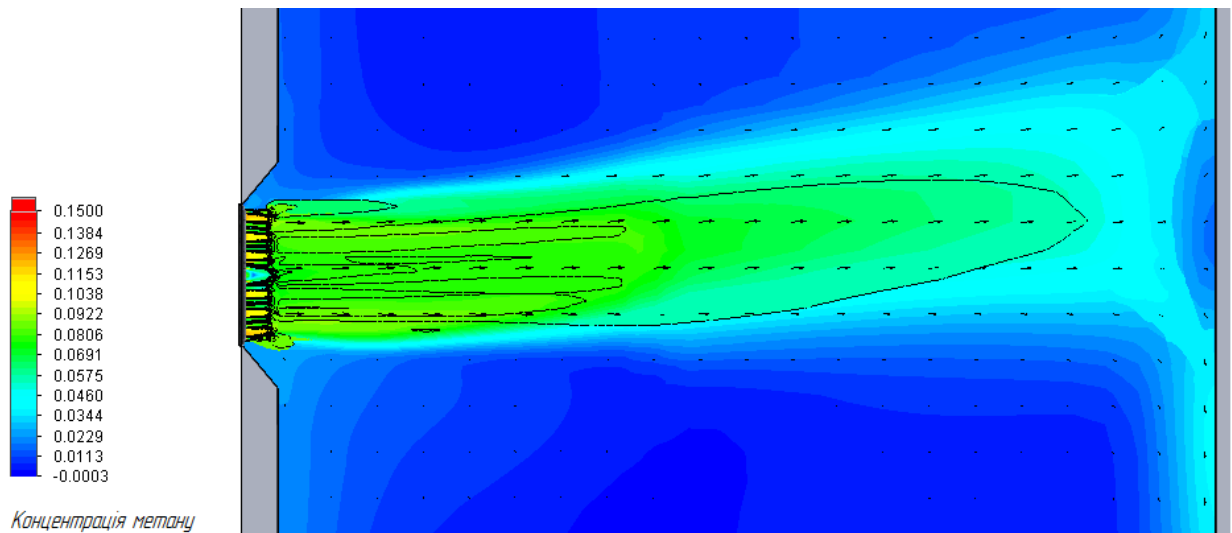


Рисунок 3.9 – Розподіл концентрацій газу у топці котла при роботі пальника трубчастого типу у повздовжньому розрізі

Як видно з рис. 3.9, пальникова система трубчастого типу характеризується рівномірним полем концентрацій газу на вході у топку котельного агрегату та, як наслідок, якісним сумішоутворенням. Це дозволяє пальнику трубчастого типу забезпечувати низькі викиди шкідливих речовин в атмосферу при значеннях коефіцієнту надлишку повітря близьких до одиниці. Таким чином використання пальникової системи трубчастого типу на котельному агрегаті КВГМ-100 дозволить знизити втрати з відхідними газами (за рахунок зменшення надлишку повітря) при одночасному покращенні екологічних показників роботи котлоагрегату.

На рис. 3.10 у збільшеному вигляді зображений розподіл концентрацій газу на виході з пальника та на вході у топку котлоагрегату.

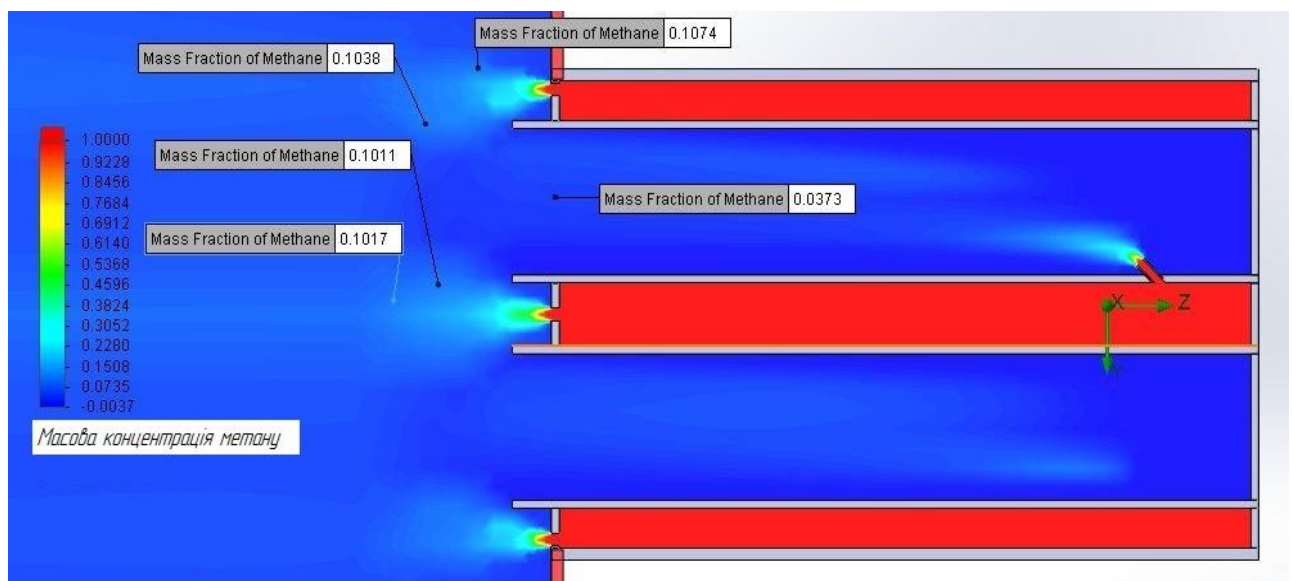


Рисунок 3.10 – Розподіл концентрацій газу на виході з пальника трубчастого типу у повздовжньому розрізі

Як бачимо з рис. 3.10, оптимальна концентрація газу у пальнику трубчастого типу досягається вже на невеликій відстані від амбразури пальника. Це забезпечує стабільний режим горіння та надійну роботу пальникового пристрою. Попереднє підмішування газу не тільки дозволяє стабілізувати факел у топці котлоагрегату, а й додатково турбулізувати потік первинного повітря.

Висока турбулентність основного потоку і наявність додаткової локальної турбулентності при подачі палива через отвори в трубній дошці, виникнення ефекту Коанда, а також наявність вторинних плинів (у вигляді тороїдальних вихорів) і високі стабілізаційні властивості сприяють збільшенню товщини пограничного шару й інтенсифікації тепломасообмінних процесів на початковій ділянці повітряного струменя. Крім того внутрішня рециркуляція сприяє зниженню емісії оксидів азоту.

На рис. 3.11 зображений розподіл швидкостей концентрацій газу у поперечному розрізі на вході у топку котлоагрегату при роботі пальника трубчастого типу.

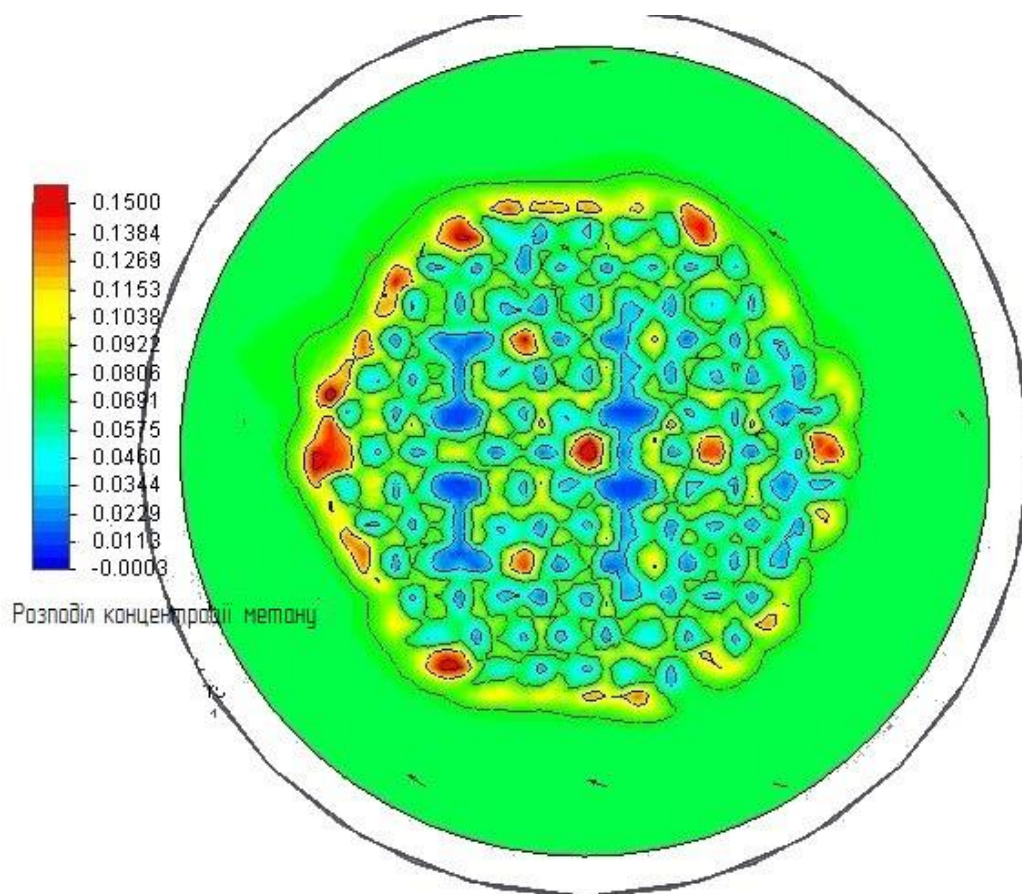


Рисунок 3.11 – Розподіл концентрацій газу у топці котла при роботі пальника трубчастого типу у поперечному розрізі на вході в котел

З рис 3.11 видно, що газ у газоповітряній суміші в поперечному перерізі на виході з пальника штатного типу розподіляється рівномірно. Це унеможливує утворення монооксидів вуглецю CO навіть при значеннях коефіцієнту надлишку повітря близьких до одиниці.

Якісне сумішоутворення пальника трубчастого типу обумовлює коротший факел, ніж у штатного пальника. Таким чином до конвективної частини котлоагрегату надходять продукти згорання, що повністю згоріли та дещо охолодились, що призводить до збільшення моторесурсу конвективних труб.

Зменшено нерівномірність розподіл температур по об'єму топки котлоагрегату. Таким чином зменшиться локальний перегрів екранних труб, що збільшить термін їх експлуатації та підвищить ККД котлоагрегату.

Крім того, таке сумішоутворення та такий факел сприяє зменшенню зон з локальним підвищенням температури продуктів згорання, в яких утворюються оксиди азоту (NO_x).

3.5 Порівняння характеристик котла із різними пальниковими системами

Для порівняння штатної пальникової системи на базі РГМГ-30 та пальникової системи трубчастого типу, розраховано ККД котла брутто за зворотнім балансом. Всі необхідні данні для розрахунку взяті з режимної карти котла, яка наведена в Додатку Б. Змінним параметром у дослідях виступає витрата газу:

- для штатного пальника вона дорівнює 1,15;
- для трубчастого пальника – 1,1.

1. Теплопродуктивність котла визначається за формулою:

$$Q_k = D_{MB} \cdot (T''_{MB} - T'_{MB}) \cdot 10^{-3} \text{ Гкал/год}, \quad (3.16)$$

де D_{MB} – витрата мережної води, т/год;

T''_{MB} – температура мережної води на виході з котла, °С;

T'_{MB} – температура мережної води на вході в котел, °С.

$$Q_k = 1140 \cdot (135 - 54) \cdot 10^{-3} = 92,34 \text{ Гкал/год}$$

2. ККД котла брутто за зворотнім балансом $\eta_{бр}$ визначається за формулою (при спалюванні природного газу):

$$\eta_{бр} = 100 - \sum q \%, \quad (3.17)$$

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

де $\sum q$ – сума втрат тепла, розраховується за формулою:

$$\sum q = q_2 + q_3 + q_5 \%, \quad (3.18)$$

де q_2 – втрати тепла з відхідними газами, %;

q_3 – втрати тепла з хімічним недопалом, %;

q_5 – втрати тепла від охолодження зовнішніх поверхонь котла, %.

3. Величина втрати тепла з відхідними газами q_2 визначається за формулою (при спалюванні природного газу):

$$q_2 = (3,53 \cdot \alpha_{\text{відх}} + 0,6) \cdot (t_{\text{відх}} - \frac{\alpha_{\text{відх}}}{\alpha_{\text{відх}} + 0,18} \cdot t_{\text{хпов}}) \cdot (0,9805 + 0,00013 \cdot t_{\text{відх}}) \cdot 10^{-2} \%, \quad (3.19)$$

де $t_{\text{хпов}}$ – температура холодного повітря ($t_{\text{хпов}} = 3^\circ \text{C}$);

$\alpha_{\text{відх}}$ – коефіцієнт надлишку повітря в відхідних газах.

При роботі котла із штатним пальником втрата теплоти q_2 становить:

$$q_2^{\alpha=1,4} = (3,53 \cdot 1,17 + 0,6) \cdot (102 - \frac{1,4}{1,4 + 0,18} \cdot 3) \cdot (0,9805 + 0,00013 \cdot 189,2) \cdot 10^{-2} = 7,914 \%,$$

а при роботі котла із трубчастим пальником:

$$q_2^{\alpha=1,1} = (3,53 \cdot 1,1 + 0,6) \cdot (102 - \frac{1,1}{1,1 + 0,18} \cdot 3) \cdot (0,9805 + 0,00013 \cdot 189,2) \cdot 10^{-2} = 4,46 \%.$$

4. Величина втрат тепла з хімічним недопалом визначається за наступними формулами:

– При відсутності в продуктах згоряння метану:

$$q_3 = \frac{35 \cdot CO}{CO + CO_2} \%, \quad (3.20)$$

де CO – концентрація оксиду вуглецю в продуктах згоряння, %, вимірюється за останньою поверхнею нагріву котла, шляхом виміру, газоаналізатором;

CO_2 – концентрація двооксиду вуглецю в продуктах згоряння, %, вимірюється за останньою поверхнею нагріву котла, шляхом виміру, газоаналізатором.

– При наявності в продуктах згоряння метану:

$$q_3 = (3,02 \cdot CO + 2,58 \cdot H_2 + 8,55 \cdot CH_4) \cdot h \%, \quad (3.21)$$

де H_2 – концентрація водню в продуктах згоряння, %, вимірюється за останньою поверхнею нагріву котла, шляхом виміру, газоаналізатором;

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

CH_4 – концентрація метану в продуктах згоряння, %, вимірюється за останньою поверхнею нагріву котла, шляхом виміру, газоаналізатором;

h – коефіцієнт розведення продуктів згоряння, %, визначається за формулою:

$$h = \frac{RO_2^{\max}}{RO_2 + CO_2 + CH_4}, \%, \quad (3.22)$$

де RO_2 – об'ємний вміст трьохатомних газів в сухих продуктах згоряння, %, вимірюється за останньою поверхнею нагріву котла, шляхом виміру, газоаналізатором;

$RO_2^{\max} = 11,8\%$ – максимальний об'ємний вміст трьохатомних газів в сухих продуктах згоряння при відсутності хімічної та механічної неповноти згоряння та $\alpha = 1,0$, %.

За режимною картою максимальна величина втрат теплоти з хімічним недопалом становить $q_3 = 0,004\%$.

5. Втрати теплоти від охолодження зовнішніх поверхонь котла $q_5 = 0,05\%$.

Таким чином ККД котла брутто дорівнює:

– із штатним пальником:

$$\eta_{\text{бр}}^{\alpha=1,4} = 100 - \sum (7,914 + 0,004 + 0,05) = 92,03 \%,$$

– із трубчастим пальником:

$$\eta_{\text{бр}}^{\alpha=1,1} = 100 - \sum (4,46 + 0,004 + 0,05) = 95,4 \, \%.$$

6. Витрата палива за зворотнім балансом визначається за формулою:

$$B_z = \frac{Q_k}{Q_n^p \cdot \eta} \text{ м}^3/\text{год}, \quad (3.23)$$

де Q_k – теплове навантаження котла, Гкал/год;

Q_n^p – калорійність палива, ккал/м³;

– із штатними пальниками:

$$B_r^{\alpha=1,4} = \frac{92,34 \cdot 10^6}{8128 \cdot 0,9252} = 12365,6 \text{ м}^3/\text{год або } 3,4349 \text{ м}^3/\text{с}$$

– із трубчастими пальниками:

$$B_r^{\alpha=1,4} = \frac{92,34 \cdot 10^6}{8128 \cdot 0,954} = 119923 \text{ м}^3/\text{год або } 3,3121 \text{ м}^3/\text{с}$$

Порівняльні дані роботи котла з різними пальниковими системами наведені в табл. 3.6.

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 3.6 – Порівняння характеристик роботи котла з штатним пальником та пальником трубчатого типу.

Найменування параметра	Значення величини		
	для штатних пальників	для пальників трубчатого типу	Зміна величини, %
Витрата газу, м ³ /год	11800	11800	0
Теплопродуктивність, Гкал/год	92,99	92,99	0
Втрата тепла з відхідними газами, %	7,914	4,46	-2,453
ККД котла брутто	92,03	95,4	+3,31
Аеродинамічний опір, Па	1759	1547	-12,05
Витрата палива, м ³ /год	12365,6	11992,3	-3,11

3.6 Технологічна схема приєднання пальника до газової та повітряної магістралей

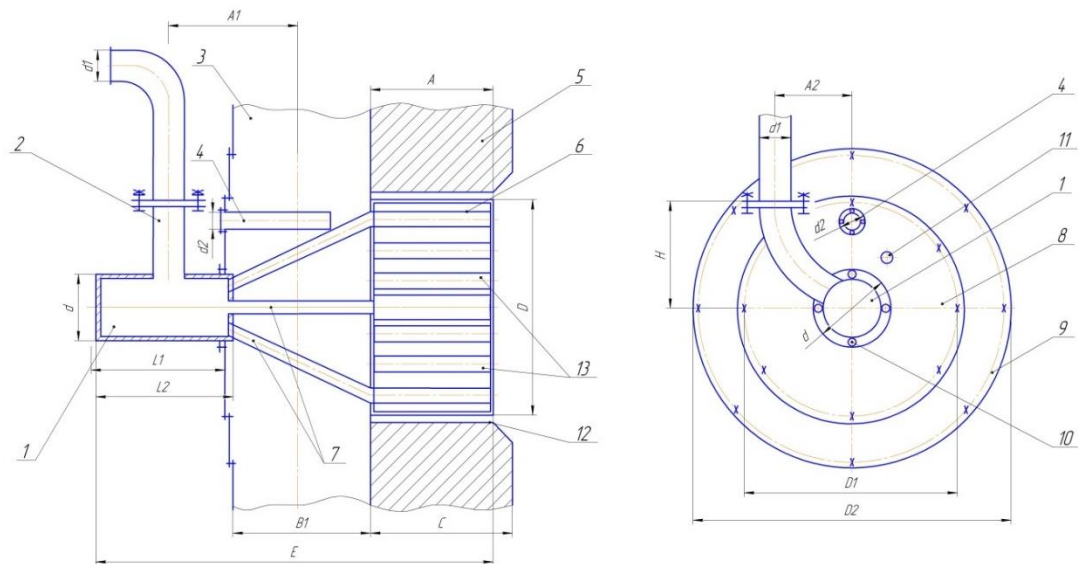
Приєднання газового пальника мікрофакельного типу ГПТТ-35 до газової та повітряної магістралей здійснюється у відповідності до діючих вимог з техніки безпеки та у послідовності, що відповідає технологічній карті монтажу.

Демонтаж штатного пальника здійснюється у відповідності до діючих норм з техніки безпеки виконання робіт на котельному обладнанні.

Приєднання пальника ГПТТ-35 до газової та повітряної магістралей котла здійснюється без зміни у конструкції газоходів, повітряпроводів, повітряного коробу, амбразури та поверхонь нагріву котла.

Пальник ГПТТ-35 у повному зборі має вагу, що не перевищує 72 кг, тому під час його монтажу здійснюються технологічні операції бригадою співробітників чисельністю не менше трьох осіб, серед яких повинні бути керівник бригади, зварювальник та слюсар.

Встановлення пальника ГПТТ-35 у амбразуру топки котла (рис. 3.12) здійснюється через отвір 9 у повітряному коробі з лицьового торця котла. Після встановлення на штатне місце фланця пальника 8 і закріплення даного фланцю у фланець повітряного коробу 9 здійснюється штатне розташування пальника ГПТТ-35 у амбразурі топки котла 12 таким чином, що зовнішня фронтальна його поверхня розташовується на те саме місце на яке був встановлений штатний пальник РГМГ-30.



- 1 – газопідвідний короб; 2 – підвід газу; 3 – повітряний короб; 4 – запальник;
 5 – обмурівка; 6 – палик; 7 – газопідвідні трубки палика; 8 – фланець палика; 9 –
 фланець повітряного коробу; 10 – фланець кріплення палика;
 11 – оглядовий отвір; 12 – амбразура палика; 13 – повітряні трубки палика.

Рисунок 3.12– Технологічна схема приєднання палика до газової та повітряної магістралей

3.7 Висновки з розділу 3

1. В роботі запропонована та розрахована оптимальна конструкція паликового пристрою трубчастого типу для котельного агрегату КВГМ-100 на СТ «Біличі».
2. Аеродинамічний опір палика трубчастого типу на 12,05% менше, ніж аеродинамічний опір штатного паликового пристрою.
3. Використання паликового пристрою трубчастого типу дасть змогу використовувати дуттьовий вентилятор меншої потужності, що заощадить поточні витрати на власні потреби котельного агрегату.
4. ККД котла при встановленні палика трубчастого типу збільшиться на 3,31% за рахунок зменшення втрат теплоти з відхідними газами на 3,45%. За рахунок цього зменшується витрата палива на котел на 3,11%. При цьому теплопродуктивність котла залишається незмінною.
5. З отриманих розподілів швидкостей газоповітряної суміші та концентрацій газу у топці котлоагрегату КВГМ-100 можна зробити висновок, що при використанні паликового пристрою трубчастого типу замість штатного завдяки зміні аеродинаміки та сумішоутворення створюються умови зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу та подовження моторесурсу поверхонь нагріву.

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1. Загальні відомості

Ідеєю проекту є модернізація існуючих традиційних паливо спалюючих пристроїв на нові енергоефективні та екологічно безпечні. Напрямок діяльності створюваної компанії – підвищення ефективності шляхом розробки проектної документації, співпраці з виробником обладнання та підрядною компанією з монтажу та експлуатації котельних яка б виконувала впровадження нових технологій.

Для реалізації проекту планується використання вже існуючих установок радянського виробництва.

Основними споживачами являються багатoproфільні підприємства (будь-які заклади, що мають в господарстві старі котли; організації, що планують оновлювати і осучаснювати існуючі системи теплопостачання) та багатосторонні платформи (державні підприємства та забудови; підприємства теплопостачання та виробництва електроенергії). Планується в перший рік введення проекту в дію розробити та реалізувати 100 проектів середньої складності.

Конкурентною перевагою є те, що в Україні діють загальні екологічні норми, які використовуються в Європейському союзі. Наразі всі без виключення підприємства в обов'язковому порядку повинні проходити нормоконтроль екологічної служби. Також енергоефективні методи аналізу і реконструкції існуючих систем заохочуються з боку держави, тому такі проекту будуть користуватись попитом не тільки на підприємствах, але і в кінцевого споживача.

Також значною перевагою проекту в порівнянні з конкурентними аналогами є використання в термодинамічному аналізі схем ексергетичного методу, який, на жаль, не набув широкого розповсюдження в пост радянському просторі, але широко використовується в розвинених країнах західної півкулі.

Для реалізації проекту необхідно інвестувати 15632 тис. грн. Період окупності інвестиційних відрахувань складає приблизно 1,5 років, індекс рентабельності інвестицій в проект за 5 років становить 5,62 одиниці, а рівень беззбитковості за проектом може бути досягнений у перший же рік введення проекту в дію.

4.2. Організація проекту

Ціль даного проекту лежить у створенні компанії, що буде виконувати проектно-монтажні роботи та надавати готові проектні рішення з енергоефективності та екологічної чистоти існуючих систем теплопостачання. Також, за необхідності компанія буде безпосередньо

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
						72
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

співпрацювати з виробниками обладнання та підрядними організаціями з монтажу та експлуатації систем опалення, гарячого водопостачання.

Напрямок діяльності створюваної компанії – створення готових рішень з тепlopостачання з використанням трубчастих модулів та МГП-пальників; співпраця та заключення договорів з виробником та монтажно-експлуатаційними організаціями.

Для реалізації проекту планується оренда офісного приміщення, в якому буде працювати команда спеціалістів, також планується закупівля вимірювальних приладів різних типів.

Діяльність компанії заснована на інноваційних розробках щодо спалювання газоподібного палива, що були розроблені, проаналізовані та реалізовані засновниками компанії; інноваційному підході до рішення питань енергозбереження – використання ексергетичних принципів аналізу існуючих систем та проектування нових.

Також слід відзначити, що діяльність компанії заснована насамперед на наукових дослідженнях різних схем спалювання палива для різних об'єктів з використанням додаткових джерел теплоти, які раніше скидались в навколишнє середовище у вигляді стоків або вентиляційних викидів відносно високого термодинамічного потенціалу. Необхідно надалі працювати в науковому напрямку задля пошуку шляхів вдосконалення розроблених інноваційних схем. В подальшому планується заснування науково-дослідного відділу компанії, з окремим фінансуванням, для розробки стендів та інших експериментальних установок.

Проект буде являти собою компанію з надання послуг, що буде стартап проектом, через низький рівень кваліфікації аналогічних компаній в Україні, та використання ними застарілих методів аналізу існуючих систем спалювання газоподібного палива. Також в Україні одиниці компаній пропонують комплексні рішення, які передбачають проектування пальників.

Ключовими партнерами є підприємства для запуску проектів, конкуруючі та неконкуруючі підприємства, що залучені до паливно-енергетичного сектору та займаються питаннями утилізації та переробки побутових відходів, а також безпосередні споживачі. Підприємства та комунальний сектор повинні надавати ключовий ресурс, а саме кваліфіковані кадри для проведення досліджень.

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
						73
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

4.3. Канва бізнес-моделі проекту

Опис канви бізнес моделі проекту наведено в табл. 4.1

Таблиця 4.1 – Опис канви бізнес моделі проекту

<p>(8) КЛЮЧОВІ ПАРТНЕРИ Ключовими партнерами є підприємства для запуску проектів, конкуруючі та неконкуруючі підприємства, що залучені до паливно-енергетичного сектору та займаються питаннями утилізації та переробки побутових відходів, а також безпосередні споживачі. Підприємства та комунальний сектор повинні надавати ключовий ресурс, а саме кваліфіковані кадри для проведення досліджень.</p>	<p>(4) КЛЮЧОВІ ВИДИ ДІЯЛЬНОСТІ Запровадження інноваційної технології спалювання палива; налагодження ринкових відносин з СТ, котельнями, ТЕС, ТЕЦ; оновлення вітчизняної технологічної бази;</p>	<p>(5) ЦІННІСНІ ПРОПОЗИЦІЇ Збільшення об'ємів виробництва товарів чорного металу, здешевлення сировини для їх виробництва, усунення необхідності імпорту сировини з-за кордону. Надання можливості більш раціонального використання людських ресурсів, покращення екологічної ситуації. Встановлення економічно виправданого підґрунтя для застосування сучасних, бюджетних енерго-екологічних пальникових пристроїв</p>	<p>(6) ВЗАЄМОВІДНОСИНИ ЗІ СПОЖИВАЧАМИ Кожен споживчий сегмент очікує стабільності у постачанні продукції та її високої якості. Разом з цим споживачі розраховують на надійність, прибутковість та екологічність запропонованої технології</p>	<p>(5) СПОЖИВЧІ СЕГМЕНТИ Багатопрофільні підприємства комунального та промислового теплоенергетичного паливоспалюючого сегменту (спеціалізовані компанії з виробництва теплової енергії; невеликі компанії, що займаються теплопостачанням, багатосторонні платформи (державні підприємства та забудови; підприємства теплопостачання та виробництва електроенергії)</p>
<p>(7) СТРУКТУРА ВИТРАТ Бізнес модель передбачає інвестиційні та виробничі витрати, з яких придбання устаткування є найбільш дорогим ключовим ресурсом. Найбільших затрат серед ключових видів діяльності вимагає організація діяльності та запуск проекту</p>		<p>(9) ПОТОКИ НАДХОДЖЕННЯ ДОХОДІВ У проекті генеруються позитивні потоки доходів ($NPV = 81121 > 0$). Індекс рентабельності інвестицій в проект є привабливим і складає $ROI = 5,62 > 1$.</p>		

4.4. Ключові види діяльності проекту

4.4.1. Вид проекту за характером інновації

- дослідно-конструкторська робота – розробка та впровадження конструкторської проектної документації та готових рішень з питань енергоефективних схем спалювання палива;
- запровадження нової технології – створення та впровадження інноваційних схем горіння, в яких використано МГП-пальники на базі трубчатих модулів; використання ексергетичного методу термодинамічного аналізу, який наразі не використовується в Україні;
- організаційні інновації – впровадження шаблону співпраці з замовником, що передбачає надання послуг від першого спілкування з замовником до встановлення і реалізації спроектованих компанією рішень; співпраця колективу компанії в напрямку розробки наукових інноваційних рішень, під які виділяється окреме фінансування;
- інше – проект використовує енергоефективні методи вдосконалення існуючих схем теплопостачання, що покращує як енергетичну так і екологічну складову ефективності існуючих систем. Такі рішення заохочуються та частково фінансуються державою. В проекті також впроваджується поширення ексергетичного методу аналізу систем, що вказує на конкретні дії по підвищенню ефективності.

4.4.2. Спрямованість проекту

- оновлення вітчизняної технологічної бази (впровадження паливоспалюючих рішень в існуючі системи теплопостачання для підвищення енергетичної та екологічної ефективності роботи)
- економія енергоресурсів (впровадження методів мікрофакельного спалювання палива дозволить економити кошти на теплопостачання об'єктів комунального та промислового сектору, що приведе до зниження витрати первинних енергоресурсів)
- поліпшення стану навколишнього середовища (впровадження МГП-пальників дозволить знизити викиди шкідливих речовин, що виділяються при спалюванні палив)

4.4.3. Висновок щодо науково-технічного рівня ідеї

- на рівні кращих світових аналогів (дана технологія не є новою в масштабах світу). В розвинутих країнах світу використання мікрофакельного спалювання палива є основним напрямком роботи з вдосконалення та реконструкції існуючих систем теплозабезпечення. Також застосування енерго-екологічних технологій у промисловості набуло високого значення серед європейських країн, особливо країн Скандинавії. Використання теплоти додаткових джерел застосовується лише окремих випадках на світовому ринку);

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
						75
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- краща за існуючі в Україні аналоги за основними показниками (аналогічні компанії не надають готових комплексних рішень з приводу питань спалювання палива із зменшенням викидів емісій NO_x та CO ;

4.4.4. Основні бізнес-процеси проекту

Основні бізнес-процеси проекту наведено в Табл. 4.2

Таблиця 4.2 – Опис канви бізнес моделі проекту

Група процесів	Бізнес-процес	Ступінь опрацювання бізнес-процесу	
		є реалізованим	буде реалізованим
Розробка продукції	розробка та конструювання продукції		-
	розробка і конструювання процесу	+	
	технологічна підготовка виробництва		+
Вимоги споживачів	дослідження розвитку ринку	+	
	організація маркетингу і продажів		+
Виконання замовлень	забезпечення і матеріально-технічний збут		+
	планування і управління виробництвом		+
	виробництво продукції		-
Обслуговування споживача	післяпродажне обслуговування		+
	повернення продукції		+

4.5. Ціннісні пропозиції та споживачі

Ціннісна пропозиція – сукупність переваг, які проект може запропонувати споживачу.

4.5.1. Характер формування споживчої цінності проекту

- покращення задоволення існуючих потреб (використання МГП-пальників суттєво покращить комфорт та легкість управління системою кінцевим споживачем)
- здешевлення задоволення існуючих потреб (використання енергетичного аналізу вказує на недоліки системи з термодинамічної точки зору та суттєво скоротить витрати на системи теплопостачання);
- формування та задоволення нових потреб (одним із напрямів розвитку даного стартап-проекту є задоволення потреб у теплопостачанні об'єктів за рахунок використання ефективної схеми спалювання палива);

4.5.2. Зміст ідеї проекту

Опис канви бізнес моделі проекту, аналіз ідеї проекту, технологічний аудит ідеї проекту та SWOT-аналіз проекту наведені відповідно в табл. 4.3 - 4.6

Таблиця 4.3 – Опис канви бізнес моделі проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Сегменти споживачів	Цінність для споживачів
Створення компанії з надання послуг по модернізації існуючих паливоспалюючих пристроїв та комплексних рішень з МГП-пальниками	1.Впровадження нових ідей щодо модернізації існуючі системи теплопостачання для підвищення енергетичної та екологічної ефективності роботи	Багатопрофільне підприємство; кінцевий споживач; виробники обладнання	Збільшення об'ємів виробництва товарів з металу, здешевлення сировини для їх виробництва
	2. Впровадження методів екологічного аналізу існуючих систем дозволить економити кошти на теплопостачання об'єктів застосування інноваційних схем, що приведе до зниження витрати первинних енергоресурсів	Багатосторонні платформи; кінцеві споживачі; виробники обладнання	Використання екологічного аналізу вказує на недоліки системи з термодинамічної точки зору та суттєво скоротить витрати на системи теплопостачання
	3.Впровадження схем теплопостачання з використанням трубчастих модулів	кінцеві споживачі; виробники обладнання	задоволення потреб у теплопостачанні об'єктів за рахунок використання МГП-пальників.

Таблиця 4.4 – Аналіз ідеї проекту

Техніко-економічні характеристики ідеї	Продукція конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проект	Kovea	Weishaupt			
Розташування	Україна	Корея	Німеччина	-	-	Відсутність проблем з транспортуванням
Екологічність систем	Висока	Висока	Середня	-	-	Застосування трубчатої технології
Якість	Висока	Висока	Висока	-	-	На рівні
Ціна	5000 Євро	8000 Євро	7500 Євро	-	-	Ціна нижча за таку ж в аналогах

Таблиця 4.5 – Технологічний аудит ідеї проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Виконання комплексних рішень	Енергоаудит об'єкта в цілому, врахування всіх переваг та недоліків структури системи	Технології пунктів 1-3 розроблені конкретно для даної компанії	Розроблена; є інтелектуальною власністю компанії
Співпраця з замовником «від 'а' до 'я'»	Супровід та створення умов для замовника, в яких забезпечується мінімальна його участь в процесах реалізації готових рішень		
Використання екологічних методів аналізу	Маючи дані енергоаудиту використовуються технології комплексного енергетичного аналізу установок та систем, що є розробкою компанії		
Дифузійне спалювання	Теплота стічних вод буде повертатись в систему тепlopостачання за допомогою теплонасосних технологій	Технологія є наявною та вже широко використовується в провідних країнах світу	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: методи, що будуть використані в проекті будуть реалізовані за рахунок технологій, розроблених для конкретних випадків. Дана технологія є доступною через розробку її всередині компанії.			

Таблиця 4.6– SWOT-аналіз проекту

<p>Сильні сторони (S):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Відсутність проблем з транспортуванням відходів – Застосування МГП-паливників – Зменшення витрат на систему тепlopостачання 	<p>Слабкі сторони (W):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Для досягнення ефекту необхідний значний об'єм ВЕР – Відношення місцевої влади – додаткові витрати на виконання їх вимог
<p>Можливості (O):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Надання конкурентноспроможних послуг – Збільшення загального показника енергоефективності – Участь в тендерних змаганнях по проектуванню сучасних систем – Залучення закордонних інвесторів для створення дослідних центрів – Створення інноваційних технологій у даній сфері, їх патентування 	<p>Загрози (T):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Неспівпадіння розрахованих даних з такими ж в реальних умовах – Високий поріг при виході на ринок – Новизна технології – збільшення затрат на освоєння, зниження об'ємів виробництва – Промисловий шпідонаж – Рекет

4.5.6. Взаємовідносини зі споживачами та канали збуту

Інформація щодо взаємовідносин зі споживачами та канали збуту наведена в табл.4.7.

Таблиця 4.7 – Взаємовідносини зі споживачами та канали збуту

Сегмент споживачів	Особливості поведінки	Вимоги споживачів	Канали збуту	Інші аспекти взаємовідносин
Багатoproфiльнi підприємства (підприємства і підрядні організації, що проводять монтажно-будівельні роботи; підприємства виробники обладнання; офіційні дилери обладнання з-за кордону)	Загальний стан економіки в країні і наявність усталеної купівельної здатності населення; орієнтація споживачів на енергоефективні рішення;	- стабільність ціни на продукцію - задоволеність кінцевого споживача - надійність роботи систем - поширення та використання продукції в проектах	Канали збуту нульового рівня, тобто послуги з розроблення готових рішень надаються безпосередньо підприємствам-виробникам обладнання	Для коректної роботи схем необхідна взаємодія кількох підприємств, для вирішення комплексних питань
Багатосторонні платформи (державні підприємства та забудови; підприємства теплопостачання та виробництва електроенергії)	Орієнтованість державних установ та будівельників на європейські стандарти і принципи	- близькість від інженерних мереж - стабільність виробництва теплової енергії - екологічна безпека введення даної технології	Може бути однорівневий канал збуту, тобто тепла енергія буде передаватись у власність підприємству енергетичного сектору, а потім продаватись її безпосередньому споживачу	Монополізація енергетичного сектору є несприятливою для розвитку проекту в даному напрямі. Для цього необхідно розробити комплекс маркетингових заходів
Кінцеві споживачі (особи, що бажають встановити нові пальники)	Бажання внести свій вклад в екологічний стан планети; Орієнтованість споживачів на західні шаблони ринку	-якість -надійність -невисока ціна -відповідність європейським стандартам	Канал збуту нульового рівня; послуга надання комплексних рішень надається безпосередньо споживачеві	Низька орієнтованість споживача на довгострокову перспективу

4.5.7. Обґрунтування ресурсів та витрат проекту

4.5.7.1. Визначення обсягу виробництва продукції

Визначення обсягу виробництва продукції наведені в табл. 4.8.

Таблиця 4.8 – Визначення обсягу виробництва продукції

Показник	Значення по роках				
	2018	2019	2020	2021	2022
Загальна потреба в продукції	30 од/рік	35 од/рік	40 од /рік	60 од/рік	100 од /рік
Можливі річні обсяги випуску в натуральних показниках	30 од/рік	35 од/рік	50 од/рік	60 од/рік	110 од/рік
Ціна одиниці продукції (тис грн/од)	150	140	100	100	100
Річні обсяги випуску в вартісних показниках (тис. грн.)	450	490	500	600	11000

4.6. План робіт та партнери проекту

Головні бізнес-процеси проекту представлені в табл.4.9

Таблиця 4.9 – Головні бізнес-процеси проекту

Бізнес-процес проекту	Термін виконання	Виконавець, співвиконавці	Результат
Розробка та конструювання схем	2 місяців	Спільні підприємства для запуску проектів	Розроблені схеми
Енергетичний аналіз систем		Спільні підприємства для запуску проектів	Розроблений план з покращення систем
Розробка і дослідження аспектів експлуатації пальника		Спільні підприємства для запуску проектів	Готовий план експлуатації системи
Дослідження розвитку ринку	1 місяці	Спільні підприємства для запуску проектів	Результати ринкових досліджень
Організація маркетингу і продажів	2 місяці	Співробітництво між неконкуруючі компаніями	Рекламна кампанія, угоди зі споживачами
Забезпечення і збут	1 місяць	Співпраця з виробниками обладнання	Угоди з виробниками обладнання
Післяпродажне обслуговування	1 місяць	Відносини виробника зі споживачами	Узгодження умов обслуговування зі споживачами

4.7. Грошовий потік та економічна оцінка проекту

4.7.1. Визначення крапки беззбитковості проекту. Точка беззбитковості відображає обсяг виробництва інноваційної продукції, при досягненні якого виручка від реалізації покриває сумарні витрати на її виробництво. Розрахунок точки беззбитковості проводиться за формулою:

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
						80
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$T_{\phi} = \frac{C}{P - V},$$

де C – постійні витрати на весь обсяг продукції (ті, які не залежать від обсягу виробництва продукції – загальногосподарські витрати та витрати на оплату праці, визначені в п. 4.7.4);

P – ціна одиниці продукції;

V – змінні витрати на одиницю продукції (ті, які пропорційно залежать від обсягу виробництва продукції – витрати на матеріальні ресурси, визначені в п. 4.7.4).

Показники витрат за 2018-2020 роки представлені в табл.4.10

Таблиця 4.10 – Показники витрат за 2018-2020 роки

Стаття витрат	Сукупні витрати за період, тис. грн.				
	2018	2019	2020	2021	2022
Загальногосподарські витрати	181	165	157	168	168
Витрати на оплату праці	480	500	500	560	600
Постійні витрати на весь обсяг продукції (C)	661	665	657	728	768
Ціна одиниці продукції (P), тис грн/од	30	30	40	45	55
Можливі річні обсяги випуску в натуральних показниках, од/рік	30	35	50	60	110
Змінні витрати на одиницю продукції (V), грн/кг	0	0	0	0	0
Точка беззбитковості, од	22	23	17	17	14

Рівень беззбитковості за проектом може бути досягнений у перший же рік введення проекту в дію.

4.7.2. Формування грошового потоку від реалізації проекту. Чистий дисконтований дохід (NPV, Net Present Value) – це різниця між надходженнями за весь період інноваційного проекту та інвестиціями в проект. $NPV = 5621 > 0$ протягом розрахункового періоду – інноваційний проект доцільно прийняти.

4.7.3. Розрахунок індексу рентабельності інвестицій в проект (ROI, Return On Investment) Характеризує рівень грошового потоку, що припадає на одиницю інноваційних витрат і обчислюється за формулою:

інвестиція здійснюється одноразово: $ROI = \sum_T D_t / I,$

D_t – надходження у відповідному періоді,

I – разова інвестиція.

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
						81
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$ROI = \frac{11750}{2433} = 4,83.$$

$ROI = 4,83 > 1$ – інноваційний проект доцільно прийняти. Чим більшим є значення цього показника, тим вищою є віддача кожної грошової одиниці, інвестованої в інноваційний проект. Критерій ROI використовують при виборі певного проекту із декількох альтернативних, у яких NPV приблизно однакові.

4.7.4. Період окупності інвестицій ($T_{ок}$) – це розрахунковий термін від початку реалізації проекту, починаючи з якої акумульований грошовий потік (ACF) приймає стійке позитивне значення. Іншими словами, це – період, починаючи з якого первинні вкладення і інші витрати, пов'язані з інвестиційним проектом, покриваються сумарними результатами його здійснення.

Термін окупності розраховується за формулою:

$$T_{ок} = t + \frac{|ACF_{t-}|}{|ACF_{T-}| + |ACF_{T+}|},$$

де t – останній період реалізації проекту, при якому акумульований грошовий потік (різниця накопиченого доходу і витрат) приймає від'ємне значення (ACF – рядок 4 табл. 9.2) – у формулі зазначається порядковий номер періоду від початку фінансування);

ACF_{t-} – це остання від'ємна різниця накопиченого доходу та витрат (грн.);

ACF_{t+} – це перша позитивна різниця накопиченого доходу та витрат (грн.).

$$T_{ок} = 1 + \frac{714}{714 + 244} = 1,75.$$

Період окупності інвестицій складає 1,5 років.

4.8. Висновки з розділу 4

За розглянутими пунктами можна побачити, що даний проект є прибутковим, а найголовніше, – ефективним рішенням питання ефективного спалювання газоподібного палива в Україні. Крім цього реалізація даного проекту може покласти початок масовості використання МГП-паливників та додаткових «зелених» джерел енергії в Україні. Для реалізації проекту необхідно інвестувати 2433 тис. грн. Період окупності інвестиційних відрахувань складає всього 1, 5 років, індекс рентабельності інвестицій в проект за 5 років становить 4,83 одиниці, а рівень безбитковості за проектом може бути досягнений у перший же рік введення проекту в дію. Дана технологія є інноваційною для нашої країни, і її впровадження дозволить покращити ситуацію на енергетичному ринку. Розвиток даного проекту дозволить в подальшому знизити витрати палива на традиційні теплогенеруючі установки.

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
						82
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Одним з найважливіших державних завдань є охорона життя і здоров'я громадян в процесі їх трудової діяльності, створення безпечних і нешкідливих умов роботи. Згідно законодавству України про охорону праці («Закон України про охорону праці»), умови при яких виконуються роботи (у тому числі і дана дипломна робота) повинні відповідати нормативним вимогам охорони праці.

Розглянемо питання охорони праці при проектуванні водогрійного котла КВГМ-100.

Тема дипломного проекту: «Модернізація палинкової системи котла КВГМ-100 на СТ «Біличі» з підвищенням енерго-екологічних показників експлуатації». Корпус котла КВГМ-100, створеного для спалювання природного газу й мазуту розташований всередині приміщення СТ «Біличі» Тягодуттєві машини й регенеративний повітропідігрівник розташовані за межами будівлі. У даному розділі проекту викладені технічні рішення та організаційні заходи з безпечної експлуатації водогрійного котла та його паливоспалюючого обладнання, а також технічні та організаційні заходи з виробничої санітарії, гігієни праці а також розглянуті питання з безпеки в надзвичайних ситуаціях.

5.1 Основні технічні рішення та організаційні заходи з безпечної експлуатації устаткування котельні

Котел стаціонарний установлений у приміщенні котельного цеху, що відповідає вимогам [СНиП II-35-76 «Котельні установки», СНиП II-58-75 «Ектростанції теплові», ДНАОП 0.00-1.08-94 «Правила пристрою й безпечної експлуатації парових і водогрійних котлів»]. Котел з його допоміжним устаткуванням являє собою величезний комплекс різноманітного теплотехнічного устаткування, яке необхідно безперервно обслуговувати та до якого необхідно мати швидкий та безпечний доступ. Проходи в котельні мають вільну висоту не менше 2 м. Для зручності й безпечного обслуговування котла встановлені постійні оглядові майданчики на різноманітних рівнях над поверхнею котельні, сходи з поруччями, висотою не менш 0,9м із суцільним обшиванням по низу не менш 100 мм. Перехідні майданчики й сходи мають поруччя по обидва боки. Майданчики довжиною більше 5 м повинні забезпечувати можливість підйому на них із двох розташованих у протилежних кінцях [ДНАОП 0.00-1.08-94 «Правила пристрою й безпечної експлуатації парових і водогрійних котлів»].

На маховику запірних арматур зазначений напрямок його обертання при **відкриванні** або закриванні арматури.

— приладами для виміру тиску;

						Арк.
						82
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Котел обладнаний манометром прямої дії. Він вибирається з такою шкалою щоб межа виміру робочого тиску знаходилася у другій третині шкали. Встановлено так, щоб його показання були чітко видно обслуговуючому персоналу. Манометри і з'єднуючі їх з котлом трубопроводи захищені від замерзання.

- приладами для виміру температури;

Котли обладнані приладами для контролю швидкості й рівномірності прогріву по довжині й висоті агрегату й приладами для контролю теплових переміщень.

- запобіжними пристроями;

Котел обладнаний запобіжними пристроями для запобігання аварійної ситуації коли тиск газу (повітря), мазуту підвищиться вище допустимого значення. Для цього застосовуються - імпульсні запобіжні клапани «пілотної дії». Запобіжні пристрої не завжди встановлюються на патрубках або трубопроводах, безпосередньо приєднаних до котлоагрегата.

У котельному цеху розміщене таке електроустаткування:

- електроспоживачі напруги 380/220В, які живляться від мережі;
- електродвигуни з ізоляцією (мережний електронасос) на напругу 6,3 кВт.

При експлуатації електродвигунів механізмів власних потреб виконують наступне:

- не допускають навантаження механізму вище номінального струму і електродвигуна й зниження напору насоса нижче гранично припустимого;
- періодично контролюють нагрівання електродвигуна на дотик і по термopарах опору.

Для електричних мереж застосовують різні кабелі з використанням алюмінію, як матеріалу, для струмоведучих жил, а при необхідності особливої гнучкості - міді.

При небезпеці електротравматизма котельний цех відносять до 3-ї категорії приміщень ("особливо небезпечні"), тому що присутні два фактори небезпеки - струмопровідна підлога й можливість одночасного дотику до корпусу електроспоживачів і металоконструкції, які мають контакт із землею.

Прийняте в проєкті електротехнічне устаткування, апаратури, кабелі й проводи, розподільні пристрої всіх видів і рівня напруги по своїх номінальних параметрах задовольняють умовам роботи як при нормальних режимах, так і при коротких замиканнях, перевантаженнях мережі.

Технічні рішення по запобіганню електротравм від контакту з нормально струмоведучими елементами електроустановок:

- ізоляція нормально струмоведучих елементів відповідно до [Правила пристрою електроустановок. - М.: Энергоатомиздат, 1986., ДНАОП 0.00-1.21-98. «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів, держнаглядохоронпраці»];

						Арк.
						83
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– використання позначень в електроустаткуванні щоб уникнути помилкових дій при обслуговуванні й експлуатації електроустаткування (напису, таблички, попереджувальні знаки, сигналізація);

– підведення кабелю до споживачів у трубах, у закритих конструкціях підлоги, розведення електромережі в приміщенні в каналах стін, підлоги, стелі;

– застосовані блокування безпеки (не дозволяють відкрити комутаційні апаратури без відключення джерела живлення - реле);

– джерела освітлення розташовані на висоті 2,5м. над робочим місцем;

– пускові апарати електродвигунів встановлені поза приміщенням котельні;

– напруга освітлювальної мережі в котельному цеху, як і по всій станції, прийнято 220В.

Технічні рішення по запобіганні електротравматизму при переході напруги на нормально не струмоведучі елементи електроустаткування:

– захисне заземлення (установки 6,3 кВ; як заземлюючі пристрої застосовані металеві колони, балки);

– занулення (електроспоживачі на напругу 380/220В).

Вимога до заземлення: опір заземлюючого пристрою залежно від величини напруги , що підводить до споживача електроенергії, потужності споживача й режиму нейтралі може бути в межах - 10...4 Ом при напрузі до 1000В і в межах 0,5...10 Ом при напрузі більше 1000В.

Вимоги до занулення: забезпечення необхідної кратності струму КЗ (3...1,25) залежно від типу запобіжного приладу; забезпечення цілісності нульового проводу достатня його провідність - за рахунок достатнього вибору його перетину й використання вторинних заземлень нульового проводу ["Правила пристрою електроустановок", Энергоатомиздат,1986; ДНАОП 0.00- 1-21-98 "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів"; ССБТ. Електробезпечність. Захисне заземлення, занулення. Зміни, 1987]. В середині котельного цеху,згідно вимог [ПУЕ та ГОСТ 12.1.030-81]по периметру приміщення виконаний контур заземлення, до якого підключається все електроустаткування. Внутрішній контур заземлення у двох місцях підключається до існуючого зовнішнього контуру заземлення.

Передбачено захист всіх будинків і споруд за допомогою блискавко-приймальних сіток, покладених на покритті будинків, сітки надійно приєднані не менш, ніж двома спусками до зовнішнього контуру заземлення.

						Арк.
						84
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

5.2 Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії

У котельні, в процесі праці, на людину довгостроково впливають різноманітні несприятливі фактори, які можуть привести до різноманітних захворювань й втрати працездатності.

Умови й фактори, що несприятливо впливають на організм людини, можна розділити на три основних види: фізичні (температура, шум, вібрації); хімічні (пил, гази, пара); біологічні.

Основні виробничі фактори, що визначають санітарно-гігієнічні умови праці:

- мікроклімат;
- склад повітряного середовища;
- шум;
- вібрації.

Для забезпечення комфортних умов роботи експлуатаційного персоналу й зменшення впливу шкідливих виробничих факторів, у котельному цеху передбачена автоматизація керування виробничими процесами, тобто контроль за основними параметрами і їхнім регулюванням здійснюється зі спеціального приміщення - щитової, де вплив шкідливих факторів легше звести до мінімуму. У котельному цеху передбачені приміщення для відпочинку й прийому їжі персоналом, ремонтна майстерня, лабораторія й т.д. Технічними рішеннями по виробничій санітарії зменшується дія шкідливих факторів.

Технологічні процеси в котельному цеху характеризуються наступними шкідливими факторами:

- можливість загазованості через витоки природного газу й димових газів з хвостової частини котла, через нещільності в газоходах й арматурах;
- шум, вібрація, які викликані роботою вентиляторів, димососів, насосів;
- можливість витоку пари через свищі й нещільності в запірних арматурах;
- виробничі випромінювання.

5.2.1 Мікроклімат робочої зони

Припустимий мікроклімат у приміщенні котельні забезпечується підтримкою теплової рівноваги між організмом і навколишнім середовищем, підтримкою на заданому рівні нормованих параметрів, що визначають мікроклімат - температура ($t, ^\circ\text{C}$), відносна вологість повітря ($W, \%$), швидкість його переміщення ($V, \text{м/с}$).

Оптимальні й припустимі параметри мікроклімату згідно [Держстандарт 12.1.005-88. ССБТ. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони.] наведені в табл. 5.1.

						Арк.
						85
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 5.1 – Оптимальні й припустимі параметри мікроклімату

Пора року	Оптимальні (щитова)			Припустимі (котельн. від-і.)		
	t, °C	W, %	V, м/с	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	23...25	40-60	≤0,1	22...28	До 55	0,1...0,2
Холодний	22...24	40-60	≤0,1	21...25	До 75	≤0,1

Для забезпечення необхідних по нормативах параметрів мікроклімату проектом передбачено:

- проточна вентиляція з подачею повітря;
- витяжна вентиляція, для видалення повітря з котельного цеху з верхньої зони;
- автоматизація технологічних процесів (керування процесом дистанційно із щитових приміщень);
- зменшене виділення тепла й вологи за рахунок удосконалення устаткування й технологічного процесу;
- вентилування приміщення з метою профілактики теплових травм, а також забезпечення необхідної температури повітря;
- вимір температури повітря в приміщенні проводиться три рази за робочу зміну; виміри проводяться на висоті 1 метра при виконанні робіт сидячи й на висоті 1,5 метра при виконанні робіт стоячи;
- при виконанні робіт поблизу поверхонь устаткування, що має високу температуру, передбачене екранування поверхонь теплоізоляційними щитами (екранами), при необхідності використовуються засоби індивідуального захисту.

Вентиляція й опалення котельні забезпечують видалення надлишків вологи, їдких газів, пилу й підтримують наступні температурні умови, згідно [ДСН 3.3.6.042-99 " Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень".]:

- а) у зоні постійного перебування обслуговуючого персоналу температура повітря взимку не нижче 12 °C, а влітку не більше ніж на 5 °C перевищує температуру зовнішнього повітря;
- б) в інших місцях можливого перебування обслуговуючого персоналу температура повітря не більше ніж на 15 °C вище температури в основній зоні;
- в) у щитовій зоні, постійного знаходження персоналу, передбачене кондиціонування.

						Арк.
						86
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

5.2.2 Склад повітря робочої зони.

Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично припустимими концентраціями (ГДК) у мг/м³. Їх гранично припустимі концентрації нормуються відповідно до [Держстандарт 12.1.005-88. ССБТ. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони.].

Для забезпечення необхідного складу повітря робочої зони проектом передбачено:

- витяжна вентиляція;
- припливна вентиляція;
- сигналізація загазованості котельного цеху;
- димосос і вентилятор розташовані поза приміщенням котельні на окремій площадці;
- виконується періодичний контроль складу повітря робочої зони.

5.2.3 Виробниче освітлення

Котельний цех забезпечується природним світлом через віконний проріз. Також передбачене штучне освітлення у вигляді газорозрядних ламп. Для аварійного освітлення передбачені акумуляторні ліхтарі. Аварійним освітленням обладнані наступні місця:

- а) фронт котлів, а також проходи між котлами, позад котлів і над котлами;
- б) щити й пульти керування;
- в) водовказівні й вимірювальні прилади;
- г) насосне встаткування.

Освітленість приміщення котельні відповідає вимогам [ДБН 13.2.5-28-2006 Природне штучне висвітлення. Норми проектування.]

Природне освітлення.

Природне освітлення нормується параметром природного освітлення:

$$\text{КПО} = e_{\text{нр}} = (E_{\text{внутр}} / E_{\text{зовн.}}) 100\%, \quad (5.1)$$

де $E_{\text{внутр}}$ - внутрішнє освітлення приміщення;

$E_{\text{наружн.}}$ - освітлення розсіяним світлом всього небозводу.

Для умов, які розглядаються в проекті (розряд зорової роботи IV (середня точність - найменший об'єкт розрізнення від 0,5 до 1 мм), система природного освітлення (бічне), пояс світлового клімату - 4, нормативне значення коефіцієнта $e_{\text{нр}}$ для четвертого світлового поясу розраховується по наступній формулі:

$$e_{\text{нр}} = e_{\text{н}} \cdot m, \quad (5.2)$$

де $e_{\text{н}}$ – нормоване значення КПО;

m – нормований коефіцієнт світлового клімату.

						Арк.
						87
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Для даних умов, коефіцієнт природної освітленості $e_n=1,5\%$, $m=0,85$, тоді нормоване значення КПО:

$$e_{nr}=1,5 \cdot 0,85 = 1,275\%. \quad (5.3)$$

Вибір величини віконних прорізів здійснюється виходячи з багатьох факторів: пояси, розташуванню вікон стосовно сторін світу, інших будівель, що перебувають у видимості й т.д.

6.2.4 Штучне освітлення

Штучне освітлення нормується згідно ДБН 13.2.5-28-2006. Природне й штучне освітлення. Норми проектування, з огляду на розряд, підрозряд робіт, систему освітлення й тип джерела світла. Нормованим параметром є освітленість Е. По методу коефіцієнтів використання світлового потоку, розраховується загальне штучне освітлення.

Організація раціонального освітлення робочих місць і будівельних майданчиків є одним з основних питань охорони праці. Від пристрою освітлення багато в чому залежить продуктивність і безпека праці, а також якість виконуваних робіт. Для забезпечення нормативного значення Е передбачено:

- системи робочого, аварійного й евакуаційного освітлення;
- аварійне освітлення живиться від джерела постійного струму (12В), резервується від акумуляторних батарей;
- як джерело освітлення застосовуються газорозрядні лампи типу ДРП і лампи накаливання 220 В у випадку якщо світильник розташовується вище ніж 2,5 м від підлоги, також лампи накаливання використовуються в коридорах, на **сходах**, площадках обслуговування;
- у приміщеннях, де постійно перебуває персонал, встановлюються люмінесцентні лампи.

5.2.5 Виробничий шум

Звук (шум) характеризується інтенсивністю, тобто потоком звукової енергії через одиницю площі. Характеристикою шуму на робочому місці є рівень звукового тиску L_p (дБ):

$$L_p=20 \cdot \lg \cdot (P_1/P_0), \text{ дБ}, \quad (5.4)$$

де P_1 – середньо квадратичне значення звукового тиску, Па,;

P_0 – значення звукового тиску на нижньому порозі чутливості в октавній смузі із середньгеометричною частотою 10Гц.

L_p – нормується залежно від частоти, характеру робіт і шуму (нормованого по відрядних спектрах - ПС). Так само характеристикою шуму є рівень звуку :

$$L_a=20 \cdot \lg \cdot (P_{AI}/P_0), \text{ дБ}, \quad (5.5)$$

де P_{AI} , – середньо квадратичне значення звукового тиску (з врахуванням корекції А шумоміра).

						Арк.
						88
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

L_a – нормується залежно від характеру робіт і характеру шуму.

Гранично припустимі рівні звуку на робочих місцях у приміщенні котельні 75 дБ. Забороняється навіть короточасне перебування в зонах з рівнем звукового тиску 135 дБ. Припустимі рівні звукового тиску й рівні звуку для постійного широкосмугового шуму зазначені в табл. 5.2. і відповідають [ДСН 3.3. 6.037-99 "Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку"].

Таблиця 5.2 – Припустимі рівні звукового тиску й рівні звуку для постійного широкосмугового шуму

Характер роботи	Припустимі рівні звукового тиску (дБ) у стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами (Гц)								Припустимий рівень звуку ДБ
	32	63	125	250	1000	2000	4000	8000	
Робота біля ПК	1003	91	83	70	70	68	66	64	75
Щитова	96	83	74	68	60	57	55	54	65

Для забезпечення необхідних значень L_p й L_A проектом передбачено:

- тягодуттєва машина й димосос винесені за межі котельні;
- технічні засоби боротьби із шумом шляхом балансування й регулювання шумовиробляючих машин;
- теплова ізоляція в покривному шарі встаткування й трубопроводів одночасно є й шумопоглинаючим матеріалом;
- дистанційне керування;
- при необхідності в котельні працівники зобов'язані користуватися протишумними засобами захисту (навушники протишумні, вкладиші протишумні "Беруші", протишумні заглушки).

5.2.6 Виробничі вібрації

Згідно «Правила будови і безпечної експлуатації трубопроводів пари та гарячої води, Держнаглядхоронпраці» нормуються припустимі величини віброшвидкості (м/с) або віброприскорення (м/с²), або логарифм віброшвидкості

$$L = 20 \cdot \lg \frac{V_1}{V_0}, \text{ дБ} \quad (5.6)$$

де: V_1 – середньо квадратичне значення віброшвидкості за повний період часу, м/с;

						Арк.
						89
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$V_0 = 5 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ – вихідне значення віброшвидкості.

Джерелами вібрації є: електричні машини, насоси, трубопроводи, димососи, вентилятори, котел й інше устаткування.

У котельні для загальної вібрації припустимі значення нормованого параметра, згідно ДСН 33.6.039-93 в діапазоні октавних смуг із середньо геометричними частотами 8...1000 Гц – 108 дБА, $L_v = 80 \text{ дБА}$.

Для зменшення впливу вібрації передбачено:

- установка всього устаткування, що є джерелом вібрації, на індивідуальні фундаменти із застосуванням матеріалів, які гасять вібрації;
- на трубопроводах передбачена установка компенсаторів;
- на повітроводах передбачені еластичні вставки;
- дистанційне керування устаткуванням, що виключає передачу вібрації на робочі місця, віброізоляція робочих місць.

5.2.7 Виробничі випромінювання

У процесі експлуатації устаткування котельні персонал піддається наступним виробничим випромінюванням:

- при роботі тепломеханічного устаткування – інфрачервоному випромінюванню;
- при виконанні зварювальних робіт - ультрафіолетовому випромінюванню.

Для інфрачервоного випромінювання нормується інтенсивність теплового випромінювання від поверхні нагрітого технологічного устаткування, освітлювальних приладів, інсоляція на постійних робочих місцях, залежно від опромінювальної поверхні тіла працюючого, категорії виконуваних робіт, тривалості впливу.

Інтенсивність теплового опромінення працюючих від нагрітих поверхонь технологічного устаткування, освітлювальних приладів, інсоляції на постійному і непостійному робочому місцях не повинна перевищувати 35 Вт/м^2 при опроміненні 50% поверхні тіла і більше, 70 Вт/м^2 при опроміненні 25...50% тіла, 100 Вт/м^2 при опроміненні не більше 25% поверхні тіла.

Технічні рішення по запобіганню шкідливого впливу на працюючих:

- температура поверхонь котлоагрегату не повинна перевищувати 50 градусів, а іншого устаткування 45 градусів, досягається застосуванням теплоізоляції;
- автоматизація технологічного процесу, дистанційне керування;
- робочі зони (місця) при необхідності екрануються;
- для зменшення дії ультрафіолетового випромінювання застосовують індивідуальний захист.

						Арк.
						90
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Безпека в надзвичайних ситуаціях регламентується ПЛАС [ДНАОП 6.00-4.33-99]. Основною складовою ПЛАС є розробка технічних рішень по організації заходів з пожежної безпеки та евакуації і оповіщення персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації

5.3.1 Обов'язки та дії персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації

У разі виявлення ознак пожежі працівник, який їх помітив, повинен:

- негайно повідомити про це Державну пожежну охорону за телефоном, вказати при цьому адресу кількість поверхів, місце виникнення НС, наявність людей, а також своє прізвище;
- повідомити про пожежу керівника, адміністрацію, пожежну охорону підприємства;
- організувати оповіщення людей про пожежу;
- вжити заходів щодо евакуації людей та матеріальних цінностей;
- вжити заходів щодо гасіння пожежі з використанням наявних вогнегасників та інших засобів пожежогасіння.

Керівник та пожежна охорона установи, яким повідомлено про виникнення пожежі, повинні :

- перевірити, чи викликано Державну пожежну охорону;
- вимкнути у разі необхідності струмоприймачі та вентиляцію;
- у разі загрози життю людей негайно організувати їх евакуацію та їх рятування, вивести за межі небезпечної зони всіх працівників, які не беруть участь у ліквідації пожежі;
- перевірити здійснення оповіщення людей про пожежу;
- забезпечити дотримання техніки безпеки працівниками, які беруть участь у гасінні пожежі;
- організувати зустріч підрозділів Державної пожежної охорони, надати їм допомогу у локалізації та ліквідації пожежі.

Після прибуття на пожежу підрозділів Державної пожежної охорони повинен бути забезпечений безперешкодний доступ їх до місця, де виникла пожежа.

65.3.2 Пожежна безпека

Захист людей у разі пожежі є найважливішим завданням усієї системи протипожежного захисту. Вирішення цього завдання, в першу чергу, потребує впровадження ефективних евакуаційних заходів на випадок виникнення пожежі. Виходи вважаються евакуаційними, якщо вони ведуть із приміщень:

- першого поверху безпосередньо назовні або через вестибюль,
- коридор, сходову клітку;
- будь-якого поверху, крім першого, у коридор, що веде на внутрішню сходову клітку або

						Арк.
						91
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

безпосередньо на зовнішні відкриті сходи;

- у сусіднє приміщення на тому ж поверсі, яке забезпечене виходами, зазначеними у попередніх пунктах;
- цокольного, підвального, підземного поверху назовні безпосередньо через сходову клітку або коридор, що веде на сходову клітку,
- яка має вихід назовні.

6.3.3 Розрахунок часу евакуації людей з приміщення

Час, необхідний для евакуації людей з приміщення при пожежі, τ , с, потрібно розраховувати відповідно до [ГОСТ 12.1.004-91]:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_i, \quad (5.7)$$

де τ_1 , τ_2 , τ_i – час руху людей на всіх ділянках шляху евакуації.

Для кожної з ділянок шляху евакуації, час, необхідний для евакуації людей, τ , с, потрібно розраховувати за формулою:

$$\tau = l/v, \quad (5.8)$$

де l – довжина розрахункового шляху потоку людей, що знаходяться на найбільшій відстані від найближчої двері евакуаційного виходу з приміщення чи по коридору до найближчої сходової клітини, м; довжина шляху не повинна перевищувати встановленої СНиП для житлових, громадських чи виробничих будівель;

v – швидкість руху людини чи людського потоку, м/хв., приймається за [ГОСТ 12.1.004-91] та перераховується в м/с.

Для інфрачервоного випромінювання нормується інтенсивність теплового випромінювання від поверхні нагрітого технологічного устаткування, освітлювальних приладів, інсоляція на постійних робочих місцях, залежно від опромінювальної поверхні тіла працюючого, категорії виконуваних робіт, тривалості впливу.

На першій ділянці шляху евакуації швидкість руху визначається за таблицею 5.3 в залежності від густини потоку D . Швидкість потоку на інших ділянках визначається в залежності від інтенсивності руху потоку на ділянці. Перед дверима, що знаходяться в кінці коридору чи приміщення, швидкість людей знижується, так як зустрічає опір інших людей та опір дверей. Швидкість проходження ділянок, на яких є двері, рекомендовано визначати за обраною швидкістю на цій ділянці за табл. 5.3.

						Арк.
						92
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 5.3 – Параметри руху людського потоку під час евакуації

Густина потoku $D, \text{м}^2/\text{м}^2$	Горизонтальний шлях		Дверний отвір	Сходи вниз		Сходи вверх	
	Швид- кість $v, \text{м/хв}$	Інтенсив- ність $q, \text{м/хв}$	Інтенсив- ність $q, \text{м/хв}$	Швид- кість $v, \text{м/хв}$	Інтенсив- ність $q, \text{м/хв}$	Швид- кість $v, \text{м/хв}$	Інтенсив- ність $q, \text{м/хв}$
0,01	100	1	1	100	1	60	0,6
0,05	100	5	5	100	5	60	3
0,1	80	8	8,7	95	9,5	53	5,3
0,2	60	12	13,4	68	13,6	40	8
0,3	47	14,1	16,5	52	16,6	32	9,6
0,4	40	16	18,4	40	16	26	10,4
0,5	33	16,5	19,6	31	15,6	22	11
0,7	23	16,1	18,5	18	12,6	15	10,5
0,8	19	15,2	17,3	13	10,4	13	10,4
0,9>	15	13,5	8,5	8	7,2	11	9,9

Густина людського потоку D на першій ділянці шляху евакуації, $\text{м}^2/\text{м}^2$:

$$D_1 = \frac{N_1 f}{l_1 \delta_1}, \quad (5.9)$$

де N_1 — кількість людей на першій ділянці, чел.;

f — середня площа горизонтальної проекції людини, що приймається рівною:

- для дорослого в домашній одежі - $0,1 \text{ м}^2$, в зимовій одежі - $0,125 \text{ м}^2$
- для підлітка - $0,07 \text{ м}^2$;

δ_1 , — ширина першої ділянки шляху, м.

Інтенсивність руху потоку обчислюється за формулою

$$q_i = \frac{q_{i-1} \cdot \delta_{i-1}}{\delta_i}, \quad (5.10)$$

де δ_i, δ_{i-1} — ширина розглянутої i -ї та попередньої ділянки шляху, м;

q_i, q_{i-1} — значення інтенсивності руху людського потоку на розглянутій i -ї та попередній ділянці шляху, м/хв ., значення інтенсивності руху потоку на першій ділянці ($q = q_{i-1}$), що визначається за таблицею 5.3 в залежності від значення D_1 .

					Арк. 93
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	

5.3.4 Система оповіщення виробничого персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації

Для підвищення безпеки в надзвичайних ситуаціях пропонується встановлення системи оповіщення виробничого персоналу.

Оповіщення про надзвичайну ситуацію та управління евакуацією людей здійснюється наступними способами:

- поданням звукових сигналів в усі виробничі приміщення будівлі з постійним або тимчасовим перебуванням людей;
- розміщенням знаків безпеки на шляхах евакуації згідно з ДСТУ ISO 6309;
- ввімкненням евакуаційних знаків "Вихід";
- зв'язком оперативного (чергового) персоналу системи оповіщення (диспетчера пожежного поста) із зонами оповіщення.

При пожежі використовуються такі засоби сповіщення персоналу:

- в приміщенні, згідно вимог [ДБН В.2.5-13-98] встановлено димові сповіщувачі СПД-1, які входять до складу автоматичних систем пожежної сигналізації а в коридорі встановленні теплові сповіщувачі ПП-105.4;
- встановлено звуковий сповіщувач в приміщенні сходової клітини, для оповіщення людей про пожежу;
- в приміщенні суворо заборонено використання побутових нагрівальних приладів, палити;
- двері відкриваються назовні;
- ширина дверного отвору 1 м, що задовольняє нормативним вимогам - не менше 0,8 м;
- кількість одночасно працюючого персоналу 3 особи, що задовольняє нормативним вимогам - не більше 25 осіб при одному виході;
- висота дверного отвору складає 2 м, що задовольняє нормативним вимогам – не менш 2 м;
- в приміщенні суворо забороняється зберігати вогнебезпечні речовини та вироби (тканина, рослинні масла, лакофарби и т.п.).

						Арк.
						94
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У даній магістерській дисертації розроблені заходи технічного переоснащення паливкової системи водогрійного котлоагрегату КВГМ-100.

Магістерська дисертація складається з чотирьох розділів, в яких:

- 1) Проаналізовані існуючі методи та засоби підвищення енерго-екологічної ефективності роботи котлоагрегатів;
- 2) Розроблено математичні моделі паливкових пристроїв штатного типу та з використанням трубчастої технології;
- 3) Здійснено розрахунок паливника нової конструкції на основі трубчастої технології спалювання газу;
- 4) Проведене математичне моделювання аеродинамічних процесів у топці котлоагрегату при роботі паливкових пристроїв штатного та трубчастого типу.

В результаті проведених експериментальних досліджень були підтверджені гіпотези, сформульовані при аналізі результатів математичного моделювання. В результаті проведених досліджень паливкових систем штатного та трубчастого типів визначено, що поля швидкостей газоповітряної суміші та концентрацій газу на виході з паливника трубчастого типу мають більш високий рівень рівномірності в порівнянні зі штатним паливковим пристроєм, що забезпечує більш якісне сумішоутворення та спалювання суміші. Технічне переоснащення з використанням паливкової системи трубчастого типу не потребує значних капіталовкладень, оскільки:

- 1) Для впровадження модернізації не потребується зміна конструкції котла та топкової камери;
- 2) Не змінюються системи подачі повітря та природного газу.

Запропонована нова конструкція паливника трубчастого типу дозволяє підвищити якість сумішоутворення, підняти рівень енергоефективності і екологічної безпеки за рахунок зниження витрати палива, підвищення ККД та зменшення концентрації та валових викидів шкідливих речовин в атмосферу.

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
						95
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ І НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

1. Сигал І. Я., Домбровська Е. П., Шишовський А. О., Смілуха А. В. Котельне господарство України та методи його модернізації. // Технічна електродинаміка. 2003, Тематичний випуск.
2. Варламов Г.Б., Любчик Г.Н., Маляренко В. А. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії: Підручник. – К.:ІВЦ Видавництво Політехніка, 2003. – 232с.: іл.
3. Шкрадюк И.Э., Чупров В.А. Технологическая картина мировой энергетики до 2050 г. – М.: Гринпис России, 2010. – 78 с.
4. Иванов Ю.В. Основы расчета и проектирования газовых горелок. – М.: Гостоптехиздат, 1963. – 360 с.
5. Д.В. Лобанов, В.Н. Чукреев. Разработка и исследование малотоксичной камеры сгорания // Теплоэнергетика. – 2009. – № 8. – С.46-47.
6. Correa S. NOx formation in lean premixed methane flames // Engineerin systems laboratory (USA). Report 89CRD001, 1989.
7. Кашапов Р. Концепция создания низкоэмиссионной камеры сгорания // Газотурбинные технологии. – 2000. – № 7-8. – С.16 -19.
8. Низкоэмиссионные камеры сгорания ГТУ / Ю.В. Забродин, Р.С. Кашапов, В.И. Корнеев, Ф.Г. Тухбатуллин, А.З. Шайхутдинов // Газовая промышленность. – 1999. – № 2. – С.52 - 65.
9. Leonard G., Correa S. NOx formation in lean premixed high-pressure methane flames // ASME PD Vol.30, Singh S.N, Ed., 1990.
10. Марчуков Е.Ю., Куприк В.В., Федоров С.А. Модернизация ГТУ компрессорных станций – важная составляющая повышения эффективности транспорта газа // Газовая промышленность. – 2003. – № 7. – С.98-99.
11. Создание малотоксичных камер сгорания ГТУ / Г.Н. Любчик, Г.Б. Варламов, Р.М. Гордяк, Б.И. Шелковский, Г.С. Марченко, Г.А. Миколин, С.А. Левчук // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2003. – № 2. – С.65 - 74.
12. Використання трубчастих модулів як елементів інтенсифікації горіння та підвищення енерго-екологічної ефективності газових пальників / Г.О. Мікулін, Г.М. Любчик, Г.Б. Варламов, Г.С. Марченко, С.О. Левчук, А.О. Зарицкий, А.В. Кардашев // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2003. – №4. – С.58-65.
13. Алямовский А.А. SolidWorks 2007/2008 компьютерное моделирование в инженерной практике. – П.: БХВ-Петербург, 2008. – 1040 с.

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
						96
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

14. Л.А. Булысова, В.Д. Васильев, М.Н. Гутник, М.М. Гутник, В.В. Ермолаев, Ю.А. Русецкий «Исследование горелочного модуля низкоэмиссионной камеры сгорания энергетической газотурбинной установки ГТЭ-45» Теплоэнергетика №4, 2009.
15. Раушенбах Б.В. Вибрационное горение – Москва, 1961.
16. Любчик Г.Н., Христич В.А., Иванникова Л.В., Ольховская Н.Н. струйные горелки для сжигания жидких и газообразных топлив // В Сб. Научно-технические достижения.-М: ИНТИ, вып 6. 1990 – С.31-34.
17. Любчик Г.Н., Левчук С.А., Варламов Г.Б., Марченко Г.С., Микулин Г.А. Особенности эмиссии NOx и CO в горелках на базе трубчатых модулей // Энергетика: економіка, технології, екологія.–2001.– № 4.–С.59-63.
18. Любчик Г.М., Марченко Г.С., Варламов Г.Б., Мікулін Г.О., Макаренко В.В., Левчук С.О. Емісійні характеристики пальників на базі трубчастих модулів // Экотехнологии и ресурсосбережение.–2004.–№1.– С.73-79.
19. Анурьев В.И. "Справочник конструктора-машиностроителя. Книга 2." - 4 изд. М.:Машиностроение, 2001. – 576 с.
20. Методика випробувань котельних установок – М.:Енергія, 1997. – 234 с.
21. Правила розробки режимних карт –Л.: ЛьвівОРГРЕС, 1996.
22. Михеев В. П., Медников Ю. П. Сжигание природного газа. – Л.: Недра, 1975. – 391 с.
23. Ювілейний збірник наукових праць. Наукові вісті НТУУ «КПІ». – К.: Українська книга, 1997. – 127 с.
24. Варламов Г. Б., Любчик Г. Н., Голота И. Н. Общие условия экологической экспертизы энергообъектов, работающих на органическом топливе // Экотехнологии и ресурсосбережение.–2001. – № 6

					ТП 71мп 14 009 ПЗ	Арк.
						97
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ДОДАТОК Г. РЕЖИМНА КАРТА ВОДОГРІЙНОГО КОТЛА КВГМ-100 №4 на СТ «Біличі»

Найменування параметрів	Розм.	Режим 1	Режим 2	Режим 3	Режим 4	Режим 5	Режим 6	Режим 7	Режим 8
Теплопродуктивність котла	Гкал/год	36,0	48,6	57,7	65,0	83,0	89,7	93,0	99,9
Витрата мережної води	т/год	1235	1235	1235	1235	1235	1235	1235	1235
Тиск мережної води на вх. в котел	кгс/см ²	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9
Тиск мережної води на вих. з котла	кгс/см ²	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
Т-ра мережної води на вх. в котел	°C	60	60	60	60	60	60	60	60
Т-ра мережної води на вик. з котла	°C	89,1	99,4	106,7	112,6	127,2	132,6	135,3	140,9
Тиск газу за РК (щит)	кгс/см ²	0,15	0,25	0,35	0,192	0,05	0,08	0,1	0,11
Тиск газу на пальник (манометр)	кгс/см ²	0,145	0,33	0,33	0,185	0,285	0,335	0,355	0,40
Витрати газу по приладу	нм ³ /год	4400	5900	7000	8000	10400	11400	11800	12500
Тиск повітря на напорі ДВ	кгс/см ²	75	115	165	135	225	265	275	325
Тиск повітря на пальник	кгс/см ²	35	65	105	80	155	185	195	240
Розрідження в топці	кгс/см ²	5	5	5	5	5	5	5	5
Приведена т-ра відхідних газів	°C	96	108	117	126	143	128	140	163
Вміст CO ₂ у відхідних газах	%	5,7	7,6	8,3	8,7	9,7	10,1	9,9	9,4
Вміст O ₂ у відхідних газах	%	5,9	3,8	3,7	4,0	3,5	3,1	3,1	3,1
Надлишок повітря у відхідних газах	-	1,35	1,02	1,19	1,21	1,18	1,15	1,17	1,23
Масова концентрація СО при а=1	мг/м ³	45	54	59	77	82	82	84	86
Масова концентрація NO _x при а=1	мг/м ³	286	287	288	286	288	287	288	288
Питомий викид СО	г/Гкал	47	57	63	81	87	88	91	93
Питомий викид NO _x	г/Гкал	300	301	304	304	308	307	309	3011
Втр. тепла з відх. газами приведена	%	4,863	4,995	5,375	5,893	6,597	6,849	6,983	7,366
Втрата тепла від хімнедопалу	%	0,0010	0,0013	0,0014	0,0018	0,0019	0,0019	0,0020	0,0020
Втрати тепла в Н.С.	%	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
ККД. котла "брутто"	%	95,077	94,992	94,561	94,032	93,334	93,082	92,947	92,564
Питома витр. умов. палива	кг/Гкал	150,3	150,5	151,1	151,9	153,1	153,5	153,7	154,3

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан теплоенергетичного

факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського
_____ Є.М.Письменний
(ініціали, прізвище)

«_____» _____ 20__ р

ЗАТВЕРДЖУЮДиректор ННЦ «ЕКОТЕЗ»
(керівник підприємства, організації)

_____ К.О. Романова
(ініціали, прізвище)

«_____» _____ 20__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на проектно-конструкторську роботу

«Модернізація палинкової системи котла КВГМ-100 на СТ «Біличі» з підвищенням енерго-екологічних показників експлуатації»

1. Термін виконання роботи

Початок – 03.09. 2018 р.
Закінчення – 17.12. 2018 р.

2. Обґрунтування для виконання роботи

Потреба в заміні морально застарілого паливосталюючого обладнання у м. Києві.

3. Мета роботи

Дослідження аеродинамічних та теплових процесів у топці котлоагрегату при його роботі на палиниках штатного та трубчастого типів.

4. Зміст основних етапів виконання роботи

Пояснювальна записка

1) Аналіз існуючих методів підвищення енерго-екологічної ефективності експлуатації об'єктів теплоенергетики.

2) Аналіз конструктивних та аеродинамічних особливостей котла та штатного палинкового пристрою.

3) Розробка пропозицій по модернізації палинкової системи котла КВГМ-100 на СТ «Біличі»

4) Розробка стартап-проекту.

Графічна частина

1) Теплова схема СТ «Біличі» – 1 арк.

2) Схема газопостачання СТ «Біличі» – 1 арк.

3) Електрична схема СТ «Біличі» – 1 арк.

4) Загальний вигляд котла – 1 арк.

5. Матеріали, що подаються після закінчення роботи

5.1. Пояснювальна записка (текстова частина магістерської дисертації).

5.2. Креслення.

5.3. Довідка про впровадження результатів.

6. Порядок розгляду і приймання роботи

Результати роботи розглядаються на засіданні ЕК із захисту атестаційних робіт освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 144 «Теплоенергетика», спеціалізацією «Промислова та муніципальна теплоенергетика і енергозбереження».

Керівник роботи

_____ професор, д.т.н. Варламов Г.Б.
(підпис) (посада, ініціали, прізвище)

«_____» _____ 2018

Виконавець

Студент гр. ТП-71 мп, ТЕФ,
КПІ ім. Ігоря Сікорського

_____ Є.А.Мішук
(підпис) (ініціали, прізвище)

«_____» _____ 2018 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор

ННЦ «ЕКОТЕЗ»

_____ К.О. Романова

«__» _____ 2018 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дипломного проекту другого (магістерського) рівня вищої освіти
студента ТЕФ, НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»

Міщука Євгенія Андрійовича

Результати магістерської дисертації студента НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського» Міщука Є.А. за темою: «Модернізація пальникової системи котла КВГМ-100 №4 на СТ «Біличі» з підвищенням енерго-екологічних показників експлуатації» впроваджені в ННЦ «ЕКОТЕЗ» в частині аеродинамічних розрахунків традиційної і трубчатої пальникових систем та розрахунків економії палива внаслідок впровадження енерго-екологічної системи паливо спалювання на базі МГП-пальників.

Інтернет + Бібліотека

79.38% Оригінальність	20.62% Схожість	193 Джерела
-----------------------	-----------------	-------------

Джерела з Інтернет : 154 джерела знайдено

1. http://www.kpi.kharkov.ua/archive/%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0...	0.58%
2. http://vestnik.kpi.kharkov.ua/files/%D0%9D%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0...	0.58%
3. http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/24355/1/Osyenko_magistr.pdf	0.48%
4. https://chmnu.edu.ua/wp-content/uploads/2018/04/OPP.-222-Meditsina.pdf	0.37%
5. http://library.nlu.edu.ua/POLN_TEXT/POSIBNIKI_2014/NP_93.pdf	0.37%
6. http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/3522/3/prohramy_Zubchasti%20zacheplenn...	0.37%
7. http://cons.parus.ua/map/doc/0390D8ADC0?a=59EJ2	0.36%
8. http://library.ztu.edu.ua/e-copies/VISNUK/61_II/3.pdf	0.35%
9. http://vtn.ztu.edu.ua/article/download/38880/47566	0.35%
10. http://wikipedia.com.ua/1xb3.html	0.31%
11. https://www.ronl.ru/referaty/psikhologiya/305624	0.31%
12. http://ir.nmu.org.ua/jspui/bitstream/123456789/146484/1/CD523.pdf	0.29%
13. http://ua-referat.com/%D0%A0%D0%BE%D0%B7%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BA%D0%B...	0.28%
14. http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=3258	0.27%
15. http://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-2002ukrainianpaleontsoc.pdf	0.26%
16. http://ua-referat.com/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%83%D0%B...	0.25%
17. http://ua-referat.com/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%83%D0%B...	0.25%
18. http://report.kpi.ua/uk/0113U000997	0.22%
19. http://ela.kpi.ua/handle/123456789/15930?mode=full	0.22%
20. http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/15930/1/2639-%D0%BF.pdf	0.22%
21. http://report.kpi.ua/files/2014_2639-p.pdf	0.22%
22. http://kak.znate.ru/docs/index-92934.html?page=2	0.2%
23. https://ukrbukva.net/page,2,65173-Sistema-avtomaticheskogo-upravleniya-temperaturoiy-vody.html	0.2%
24. https://ukrbukva.net/page,7,20501-Proektirovanie-osnovaniy-i-fundamentov-mnogoetazhnogo-gra..	0.2%
25. https://ukrbukva.net/page,7,21581-Proektirovanie-otopitel-noiy-kotel-noiy-dlya-teplosnabzheniya-p..	0.2%
26. http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/REG5879.html	0.2%
27. http://www.centrenerg.com/newsroom/news/item_114	0.17%
28. http://eprints.kname.edu.ua/14380/1/2009_%D0%BF%D0%B5%D1%87.BOOK_2212_225x175.pdf	0.14%
29. http://www.slavdpu.dn.ua/fmk/elem_vekt_alg_2010.pdf	0.13%
30. http://4exam.info/book_128_glava_40_7.3._Suchasn%D1%96_tenden%D1%81%D1%96%D1%9...	0.11%
31. http://nung.edu.ua/files/attachments/disertaciya_mih.pdf	0.11%
32. http://elit.lnu.edu.ua/pdf/7_1.pdf	0.1%
33. https://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/CGMP/ucm110914.htm	0.09%
34. http://stormyrecords.com/2007	0.09%



Схожість



Цитата



Схожість з обраним джерелом



Посилання



Заміна літер абетки

ВІДОМІСТЬ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Примітка
1	A4		Завдання на магістерську дисертацію	2	
2	A4	ТП 81мп 14 009 ПЗ	Пояснювальна записка	10 2	
3	A1	ТП 81мп 14 009 001ТМК	Теплова схема	1	
4	A1	ТП 81мп 14 009 002ГПВ	Газова схема	1	
5	A1	ТП 81мп 14 009 002ТМК1	Схема хімводопідготовки	1	
6	A1	ТП 81мп 14 009 002ТМК	Схема електричних з'єднань	1	
7	A1	ТП 81мп 14 009 002ТМК	Генеральний план СТ «Біличі»	1	
8	A1	ТП 81мп 14 009 002ТМК	Вигляд загальний КВГМ-100 №4 на СТ «Біличі»	1	
9	A1	ТП 81мп 14 009 002ТМК	Схема руху води в котлі	1	
10	A1	ТП 81мп 14 009 002ТМК	Вигляд РГМГ-30	1	
11	A1	ТП 81мп 14 009 002ТМК	Вигляд МГП-пальника	1	
11	A4	ТП 81мп 01 02 ТМК.С	Специфікація	2	

					ТП 71мп 14 009 ПЗ					
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата						
Студент	Міщук				Пальникова система котла КВГМ-100 на СТ «Біличі»			Стадія	Аркуш	Аркушів
Керівник	Варламов									
Н. контр.	Боженко							НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», ТЕФ, каф. ТПТ		
П.контр.										
Зав. каф.	Варламов									